

MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO APLICADA A UM CASO DE ESTUDO DA CIDADE DO PORTO

DIOGO RAFAEL RIBEIRO PINHEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientadora: Professora Doutora Sara Maria Pinho Ferreira

Coorientador: Mestre José Pedro Cardoso Brandão e Pinto Ferreira

OUTUBRO DE 2018

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2017/2018

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2017/2018 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha avó

*“We were young
Living for the moment
Never thinking about tomorrow
About the things to come...”
Ran D*

AGRADECIMENTOS

À Professora Sara Maria Pinho Ferreira, agradeço a fantástica orientação, a constante disponibilidade e todo o carinho e ajuda despendidos durante este longo percurso.

Ao Engenheiro José Pedro Cardoso Brandão e Pinto Ferreira, agradeço igualmente a orientação e paciência durante a realização desta dissertação.

À Engenheira Cristina Alexandra Teixeira Vilarinho e ao Engenheiro Marcos Paulo Schlickmann por toda a ajuda no desenvolvimento do modelo.

À Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego pelo excelente acolhimento e boa disposição, assim como pela constante disponibilidade para ajudar. Este agradecimento estende-se à Câmara Municipal do Porto, pela oportunidade de realizar a dissertação em ambiente empresarial.

Uma palavra de apreço ao Professor José Pedro Maia Pimentel Tavares, por ter despertado em mim o gosto e o interesse pela especialização de Vias de Comunicação.

À empresa PTV por me ter permitido trabalhar com o seu programa e, pela rápida e precisa resposta a todas as questões que foram surgindo no decurso do trabalho.

Aos meus pais e irmão, companheiros de todas as horas, por todo o carinho e compreensão ao longo desta longa e difícil etapa.

Por fim, mas não menos importante, aos meus amigos que tornaram esta etapa memorável e que vai deixar muitas saudades. Obrigado por fazerem parte e contribuírem para os melhores anos da minha vida.

RESUMO

Na atualidade o uso do transporte individual continua a ser uma das maiores causas para o congestionamento do tráfego. As cidades estão em constante mudança devido às contínuas inovações tecnológicas, novas políticas e outros tipos de fatores. Existem estudos recentes que preveem que a população mundial irá continuar a crescer nos próximos anos. Todos estes fatores têm impacto direto na mobilidade de um país ou de uma cidade. O planeamento da mobilidade de uma cidade é cada vez mais uma tarefa complexa e difícil.

Como tal, existe uma grande necessidade de haver estudos de tráfego e de mobilidade. É também necessário encontrar respostas e soluções que consigam fazer face às constantes mudanças de paradigma da mobilidade. Grande parte das obras ou modificações associadas à Engenharia de Tráfego envolvem custos e tempo. Para contrariar isso, recorrem-se à utilização de modelos de tráfego.

O tema desta dissertação é sobre a modelação, a um nível de detalhe microscópico, aplicada a um caso da cidade do Porto. A zona escolhida para o presente estudo foi a zona do Carvalhido, zona tradicionalmente conhecida por apresentar condições de circulação muito precárias. Posto isto, procedeu-se ao desenvolvimento do modelo. Inicialmente, foram definidos os objetivos do modelo com base no que se pretendia avaliar, selecionando a informação e os recursos disponíveis para serem utilizados. Depois, procedeu-se ao tratamento da rede (zona de estudo), onde foram determinadas as características físicas e as variáveis dos elementos constituintes do modelo. Depois de todas as variáveis introduzidas e representadas no modelo, seguiu-se a identificação e correção de erros do modelo. De seguida, procedeu-se ao “ajustamento” das variáveis e de todos os elementos da rede, com o intuito de aproximar ao máximo o modelo da situação real. Finalizada esta etapa, seguiu-se a etapa de comparar os dados simulados com dados reais e independentes dos dados inicialmente introduzidos no modelo de forma a ter a garantia que o modelo se encontrava semelhante ao cenário real. Por fim, procedeu-se à aplicação do modelo.

Foram escolhidos um conjunto de indicadores para avaliar o desempenho do modelo. Antes dessa avaliação, foram desenvolvidos cenários alternativos ao real com o objetivo de encontrar melhores soluções para as condições de tráfego da zona. Todos estes cenários foram então avaliados e comparados com o cenário base. Finalmente, procedeu-se à análise dos resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: *VISSIM*, modelação, calibração, simulação de tráfego, indicadores de desempenho.

ABSTRACT

Nowadays, the use of individual transportation remains one of the major causes of traffic congestion. Cities are constantly changing due to continuous technological innovations, new policies and other types of factors. There are recent studies that predict that the world's population will continue to grow in the coming years. All these factors have a direct impact on the mobility of a country or a city. Planning a city's mobility is increasingly a complex and difficult task.

As such, there is a great need for traffic and mobility studies. It is also necessary to find answers and solutions that can deal with the constant paradigm shift of mobility. Most of the works or modifications associated with Traffic Engineering involve costs and time. To counteract this, use is made of traffic models.

The subject of this dissertation is about the modelling, at a microscopic level of detail, applied to a case of the city of Porto. The zone chosen for the present study was the Carvalhido zone, a zone traditionally known for presenting very poor circulation conditions. After this, we proceeded to the development of the model. Initially, the objectives of the model were defined based on what was intended to be evaluated, selecting the information and resources available to be used. Afterwards, the network (study area) was treated, where the physical characteristics and the variables of the constituent elements of the model were determined. After all the variables introduced and represented in the model, the identification and error correction of the model was followed. Afterwards, the variables and all the elements of the network were "adjusted", to make the model as close as possible to reality. At the end of this stage, we proceeded to compare the simulated data with real and independent data of the data initially introduced in the model so as to guarantee that the model was similar to the real scenario. Finally, the model was applied.

A set of indicators was chosen to evaluate the performance of the model. Before this evaluation, alternative scenarios were developed to the real one to find better solutions for the traffic conditions of the zone. All these scenarios were then evaluated and compared with the baseline scenario. Finally, the results obtained were analysed.

KEYWORDS: *VISSIM*, modelling, calibration, traffic simulation, performance indicators.

ÍNDICE GERAL

1 INTRODUÇÃO	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	2
2 MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO	5
2.1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	5
2.2. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO.....	6
2.2.1. FORMULAÇÃO	6
2.2.2. CODIFICAÇÃO	7
2.2.3. VERIFICAÇÃO.....	8
2.2.4. CALIBRAÇÃO.....	10
2.2.5. VALIDAÇÃO.....	11
2.2.6. APLICAÇÃO.....	12
2.3. CRITÉRIOS DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS.....	12
2.3.1. ÍNDICE <i>GEH</i>	12
2.3.2. <i>RMSE</i>	14
2.3.3. GRÁFICO DE DISPERSÃO.....	14
2.4. CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO	16
2.4.1. ESCALA TEMPORAL	16
2.4.2. REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO	17
2.4.3. NÍVEL DE DETALHE	17
2.5. MACROSSIMULAÇÃO <i>VERSUS</i> MICROSIMULAÇÃO	18
2.5.1. MACROSSIMULAÇÃO	18
2.5.2. MICROSIMULAÇÃO.....	20
2.6. MICROSIMULADOR <i>VISSIM</i>	20
3 CONSTRUÇÃO DO MODELO	23
3.1. ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DA ZONA ALVO DE ESTUDO	23
3.2. LIMITAÇÃO E CALIBRAÇÃO INICIAL DA ZONA DE ESTUDO (<i>VISUM</i>).....	24
3.3. CALIBRAÇÃO DA REDE (<i>VISSIM</i>)	27
3.3.1. PERÍODO A AVALIAR (<i>EVALUATION TIME</i>)	28
3.3.2. DYNAMIC ASSIGNMENT VS. STATIC ASSIGNMENT.....	28
3.3.3. TRATAMENTO DA REDE	29
3.3.4. LINHAS E PARAGENS DE TP	32
3.3.5. SEMÁFOROS E DETETORES.....	34
3.4. VALIDAÇÃO DO MODELO (CENÁRIO BASE).....	39

3.4.1. “VALIDAÇÃO INICIAL” VISSIM/VISUM.....	40
3.4.2. VALIDAÇÃO.....	43
3.5. INDICADORES DE DESEMPENHO.....	45
4 DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	49
4.1. INTRODUÇÃO	49
4.2. CENÁRIO 1.....	49
4.3. CENÁRIO 2.....	51
4.4. CENÁRIO 3.....	52
4.5. CENÁRIO CMP	52
4.5.1. ALTERAÇÃO DE SENTIDOS NA RUA OLIVEIRA MONTEIRO E NUM TROÇO DA RUA DO CARVALHIDO	53
4.5.2. RUA DA PRELADA / AV. DE FRANÇA / RUA DE PEDRO HISPANO / AV. DO CONSELHO DA EUROPA	54
4.5.3. NOVA PROGRAMAÇÃO DE SEMÁFOROS NO CRUZAMENTO Nº297.....	55
4.5.4. CRUZAMENTO Nº310	58
4.5.5. CRUZAMENTO RUA ACÁCIO LINO/ RUA SOUSA PINTO	58
4.5.6. CRUZAMENTO AVENIDA CONSELHO DA EUROPA/ RUA SARMENTO BEIRES.....	58
4.5.7. CRUZAMENTO RUA MONTES BURGOS/ RUA SARMENTO BEIRES.....	58
4.5.8. MODIFICAÇÕES NOS TRANSPORTES PÚBLICOS.....	60
4.6. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	61
5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	65
5.1. CONCLUSÕES GERAIS	65
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	65
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
BIBLIOGRAFIA	68
SITES	68
7 ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Etapas de desenvolvimento de um modelo de simulação de tráfego	6
Figura 2.2 - Representação esquemática de uma rede de transportes (Tavares, 2003)	7
Figura 2.3 – Fases da validação de um modelo (Barceló, 2010)	12
Figura 2.4 - Gráfico de dispersão (Barceló, 2010)	15
Figura 2.5 - Gráfico de dispersão (Haas, 2000)	16
Figura 2.6 - Comparação do nível de detalhe entre os modelos macroscópicos, microscópicos, mesoscópicos e híbridos (Barcelo, 2014)	18
Figura 2.7 - Relação entre as variáveis velocidade, débito e concentração	19
Figura 2.8 - Modelo de <i>car-following</i> de acordo com Wiedemann (1974)	21
Figura 3.1 - Escolha da zona de estudo	23
Figura 3.2 - Rede do Porto modelada em <i>VISUM</i>	24
Figura 3.3 - Sub-rede gerada em <i>VISUM</i> após o corte	25
Figura 3.4 - Representação dos nós e das zonas da rede	27
Figura 3.5 - Rede modelada em <i>VISSIM</i>	27
Figura 3.6 - Exemplo de uma área de conflito	29
Figura 3.7 - Rotunda Orlando Ribeiro depois de modelada	30
Figura 3.8 - Exemplo da "passagem" de 1 via para 2 vias	31
Figura 3.9 - Tratamento do nó.....	31
Figura 3.10 - Paragens existentes na rede em estudo	33
Figura 3.11 - Exemplo de uma rota de autocarros (linha 704)	33
Figura 3.12 - Introdução do momento de entrada na rede de uma determinada linha (neste caso, linha 704 Boavista - Codiceira)	34
Figura 3.13 - Ilustração do funcionamento do sensor tipo espira	35
Figura 3.14 - Cruzamento Nº310	36
Figura 3.15 - Cruzamento Nº297	37
Figura 3.16 - Identificação dos troços alvos de estudo.....	40
Figura 3.17 - Afetação do tráfego em <i>VISUM</i>	41
Figura 3.18 - Veículos que chegaram a entrar na rede	42
Figura 3.19 - Veículos que não chegaram a entrar na rede	43
Figura 3.20 - Movimentos possíveis no cruzamento.....	44
Figura 3.21 – Identificação dos cruzamentos escolhidos para o estudo	48
Figura 4.1 - Movimentos existentes no cruzamento entre a Rua de Montes Burgos e a Rua Sarmiento Beires.....	50
Figura 4.2 - Movimentos existentes no cruzamento da Rua Sousa Pinto e da Rua Acácio Lino	51

Figura 4.3 - Praça do Exército Libertador	52
Figura 4.4 - Representação dos sentidos propostos neste cenário.....	53
Figura 4.5 - Cruzamento da Rua da Natária com a Rua do Carvalhido desenvolvido em 2 fases	54
Figura 4.6 - Alteração dos movimentos permitidos na Rua da Prelada.....	55
Figura 4.7 - Movimentos existentes no cruzamento N°297	56
Figura 4.8 - Detetores no cruzamento N°297	57
Figura 4.9 - Implementação de sinais STOP no cruzamento da Avenida Conselho da Europa com a Rua Sarmento Beires	58
Figura 4.10 - Cruzamento da Rua Sarmento Beires com a Rua de Montes Burrgos desenvolvido em 2 fases.....	59
Figura 4.11 - Movimentos existentes no cruzamento	59

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 2.1 – Diferentes abordagens para os índices <i>GEH</i>	13
Quadro 2.2 - Análise comparativa do índice <i>GEH</i> com a diferença percentual dos valores observados e modelados (Transport For London, 2010).....	14
Quadro 3.1 - Períodos de estudo e horas de ponta para a manhã e para a tarde.....	26
Quadro 3.2 - Linhas existentes na rede, sentido e 1ª paragem das mesmas	32
Quadro 3.3 - Fases, tempos e movimentos do cruzamento N°310	36
Quadro 3.4 - Fases, tempos e movimentos do cruzamento N°297	38
Quadro 3.5 - Fases e respetivos detetores associados.....	38
Quadro 3.6 - Troços alvo de estudo para cálculo do índice <i>GEH</i>	39
Quadro 3.7 - Comparação dos dados simulados em <i>VISSIM</i> com os dados simulados em <i>VISUM</i>	41
Quadro 3.8 - Comparação dos volumes simulados com os volumes baseados nas contagens	44
Quadro 3.9 - Níveis de serviço de acordo com o tempo de percurso perdido	47
Quadro 4.1 - Fases, tempo e movimentos existentes no cruzamento.....	50
Quadro 4.2 - Fases, tempos e movimentos existentes no cruzamento.....	51
Quadro 4.3 Fases, tempos e movimentos existentes neste cruzamento	56
Quadro 4.4 - Fases e detetores associados	57
Quadro 4.5 - Fases, tempo, e movimentos existentes no cruzamento.....	60
Quadro 4.6 - Síntese geral dos cenários alvos de estudo	60
Quadro 4.7 - Resultados dos indicadores gerais da rede.....	61
Quadro 4.8 - Resultados dos indicadores de desempenho ao nível das interseções	62
Quadro 4.9 - Indicadores de desempenho ambientais	63

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

CMP – Câmara Municipal do Porto

VISSIM - Verkehr In Städten - SIMulationsmodell

VAP – Vehicle Actuated Programming

TMáx – Tempo Máximo de verde

TMin – Tempo Mínimo de verde

HPM – Hora da Ponta da Manhã

HPT – Hora da Ponta da Tarde

PTV - Planung Transport Verkehr

TI - Transporte Individual

TP – Transporte Público

O/D – Origem/Destino

1 INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje o uso de TI (Transporte Individual) continua a assumir a maior quota da repartição modal existente na cidade do Porto. Os resultados provisórios do Inquérito à Mobilidade nas Áreas Metropolitanas do Porto (AMP) e de Lisboa (AML), elaborado pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), revelam que o automóvel foi o principal meio de transporte nas deslocações realizadas pelos residentes nas áreas metropolitanas, de forma mais marcante na AMP. O mesmo estudo diz que cerca de 50% dos residentes na AMP que usam TP (transporte público), apenas o fazem por não possuírem carta de condução ou por não ter transporte individual. São dados que refletem bem a dependência da população do TI.

Para além disso, nos últimos anos a cidade do Porto tem vindo a sofrer várias alterações que se refletem num difícil planeamento da mobilidade da cidade. O crescente turismo, inovações tecnológicas, mudanças socioeconómicas e novas políticas da cidade tornam o planeamento da cidade um desafio constante. Convém realçar que a cidade do Porto é uma cidade antiga e possui uma hierarquização viária muito confusa e, por vezes mal definida. Desta forma, os problemas de congestionamento da cidade são de grande relevo em alguns pontos da cidade.

Planear a circulação rodoviária de uma cidade é um processo muito complexo e trabalhoso. Grande parte das obras associadas à Engenharia de Tráfego são obras que representam um grande impacto na rede, envolvendo por vezes grandes custos e problemas relacionados com a segurança. É necessário simplificar ao máximo todas as tarefas envolvidas numa obra deste género e é neste momento que nasce a necessidade de se recorrer a modelos de simulação de tráfego.

Os modelos de simulação de tráfego foram desenvolvidos com o principal objetivo de reproduzir uma determinada rede, sendo essa muito próxima do sistema real e, testar e avaliar soluções alternativas para o caso em estudo. Existe uma enorme variedade de modelos, divididos em várias categorias e com aplicações diferentes. De uma forma geral um modelo de simulação de tráfego tem como objetivo:

- Obter estimativas de volumes de tráfego, de velocidades e de atrasos;
- Obter estimativas de variáveis agregadas da rede (velocidade média de circulação, atraso total, emissões de gases, consumos de combustível, ...);
- Estimar tempos de viagens entre zonas;
- Identificar arcos congestionados;
- Identificar percursos entre pares O/D (pares Origem/Destino);
- Analisar pares O/D que utilizam um dado arco ou percurso;
- Etc.

1.2.OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Atualmente, os modelos de simulação de tráfego são cada vez mais usados como suporte para avaliar situações reais e testar cenários alternativos como por exemplo a implementação de semáforos, a alteração de sentidos, a criação ou remoção de um determinado arruamento, etc. Torna-se prático e pouco dispendioso recorrer a modelos de tráfego, sendo que estes podem fornecer informações extremamente úteis quando se pretende estudar um determinado caso real.

Desta forma e, em parceria com a Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego da Câmara Municipal do Porto (CMP), surgiu a ideia de estudar uma zona “crítica” da cidade do Porto através do recurso de um programa de simulação de tráfego. A zona escolhida para este estudo foi a zona do Carvalhido, que será descrita com mais pormenor no decorrer da dissertação. Esta escolha deveu-se ao facto desta zona ser um dos pontos críticos de congestionamento da cidade.

O grande e principal objetivo da dissertação passa por recriar o cenário real (cenário Base) e estudar o seu desempenho. A aplicação do modelo de simulação foi precedida de um estudo aprofundado sobre os modelos de simulação de tráfego, com o intuito de absorver o conhecimento necessário para a realização do estudo. O modelo de simulação de tráfego usado nesta dissertação foi o *PTV VISSIM*, modelo de nível de detalhe microscópico. A escolha de um modelo de microssimulação deveu-se ao facto de a rede em estudo não possuir grandes dimensões. Como tal, para pormenorizar ao máximo o estudo da zona, recorreu-se a um modelo deste nível de detalhe.

Numa fase posterior, depois de recolhida a informação necessária sobre a área de estudo, relativa ao funcionamento de toda a zona, foi desenvolvido o cenário real. De seguida, foram elaborados e estudados cenários alternativos que propõem modificações à situação real.

Por fim, houve a discussão dos resultados obtidos referentes a todos os cenários, por aplicação do programa de simulação de tráfego e, a respetiva comparação entre os mesmos assim como a comparação com o cenário real.

1.3.ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em 5 capítulos, já contando com a Introdução onde o objetivo deste 1º capítulo foi enquadrar a realidade atual da mobilidade urbana da cidade do Porto e, explicar o porquê do crescente uso dos modelos de simulação de tráfego como resposta aos estudos de tráfego que existem nos dias de hoje.

O segundo capítulo, “Modelos de simulação de tráfego”, tem o intuito de explicar em que consistem os modelos no geral e, de um modo particular, o que são os modelos de simulação de tráfego. Este capítulo aborda as principais etapas de desenvolvimento destes modelos, assim como a caracterização dos mesmos.

O terceiro capítulo, “Construção do modelo”, será um capítulo de grande importância na estrutura desta dissertação. É neste capítulo que será explicado ao pormenor todo o processo de desenvolvimento do modelo de simulação de tráfego, todas as etapas das simulações e todos os problemas que ocorreram no decorrer deste trabalho associados à modelação da rede em estudo.

O quarto capítulo, “Desenvolvimento de cenários e discussão de resultados”, será espaço para a explicação de todos os cenários propostos em alternativa ao cenário real (Base). Depois de

explicados os cenários, será feita a discussão dos resultados de todos os cenários em comparação com o cenário Base.

Por fim, o quinto e último capítulo, “Conclusões e desenvolvimentos futuros”, irá conter todas as conclusões da presente dissertação, assim como algumas considerações sobre as limitações da aplicação do modelo de simulação de tráfego. Este capítulo conterà também umas breves ideias sobre possíveis desenvolvimentos futuros relacionados com o tema da modelação de tráfego.

2

MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

2.1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Pode afirmar-se que, desde sempre, devido à complexidade de todos os acontecimentos e fenómenos terrenos, houve uma necessidade intrínseca ao ser humano de conceber modelos para simplificar um processo de tomada de decisão ou para focar nos elementos e relações-chave de forma a chegar a um melhor entendimento da sua aplicação prática (Pereira e Tavares, 2015). Um modelo é uma representação idealizada e simplificada de um sistema mais complexo, mas que, no entanto, representa o comportamento desse mesmo sistema.

Em Engenharia o recurso a modelos ganha especial relevo, uma vez que a maioria dos projetos da área são de uma complexidade tal que se torna quase obrigatório de serem trabalhados a uma escala reduzida ou aumentada (protótipo). Fatores como a segurança, os custos e a eficiência são fulcrais em qualquer projeto o que faz com que o recurso a modelos nesta área seja muito recorrente. As vantagens da utilização de modelos em Engenharia tornam-nos numa ferramenta muito importante e imprescindível, quer na recriação de cenários reais, quer na otimização e solução de problemas. Segundo a definição do Standard Computer Dictionary (IEEE, 1991) “*um modelo é a aproximação, representação ou idealização dos elementos selecionados da estrutura, do comportamento e da operação, ou outras características, de um processo, conceito ou sistema real.*”

Na Engenharia de Tráfego os modelos de simulação de tráfego existem com o objetivo de representar a interação existente entre os três principais intervenientes do sistema rodoviário: o veículo, o operador e a infraestrutura. Existem para estudar o desempenho de uma determinada rede que é caracterizada por uma determinada oferta/procura, rede esta que terá uma determinada infraestrutura que a suportará.

Há vários fatores que influenciam a dinâmica do tráfego e algumas secções da rede, quer pela sua geometria, quer pelos fluxos de tráfego que apresentam, são consideradas problemáticas para a circulação viária nelas existente. Um estudo de circulação viária consistirá numa primeira etapa em reproduzir e analisar uma determinada zona em estudo e, depois de identificados os problemas, passar-se-á à fase de criação de cenários alternativos com o intuito de otimizar a zona em questão. De um modo geral, as alternativas que podem ser desenvolvidas para melhorar a circulação de uma dada zona serão:

- Inversão do sentido de circulação de vias;
- Criação de novas vias;
- Implementação de semáforos ou otimização dos mesmos;

- Alteração de sinalização vertical e horizontal;
- Adequação da geometria do traçado;
- Faixas exclusivas para TP e/ou revisão de rotas de TP.

Algumas são medidas de gestão, que podem ser aplicadas sem grande esforço. As outras, medidas físicas, traduzem um grande impacto na rede real pelo que a sua implementação envolveria grandes custos e, eventualmente, problemas relacionados com a segurança. A utilização de modelos de simulação de tráfego previne estas preocupações e possibilita uma maior variedade de estudos e alternativas. Desta forma será então possível estudar diferentes cenários para o local em estudo e avaliar os seus impactos na rede de uma forma muito mais rápida, económica e segura.

Existe uma grande variedade de software que atualmente se discute e compara, uma vez que nem todos derivam dos mesmos pressupostos. As simulações de tráfego tornaram-se cada vez mais simples e eficazes em função da evolução tecnológica, no entanto, continuam a ser um processo complexo (Vilarinho, 2008).

2.2. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Segundo Tavares (2003), *“o objetivo de um modelo de tráfego é o de simular todas as variáveis e condições que fazem parte de uma rede de transportes, dentro de limites que fixam o erro admissível, de modo a o mesmo modelo ser passível de aplicação para a realização de previsões/avaliações da rede.”*

Até que um modelo de simulação de tráfego esteja pronto para ser aplicado, existem uma série de etapas a percorrer. O desenvolvimento de um modelo deve englobar os seguintes passos:

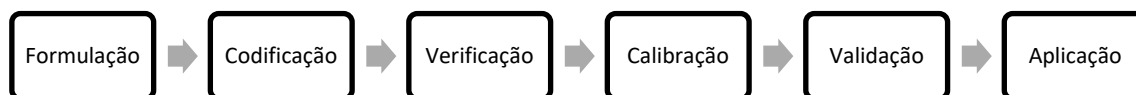


Figura 2.1 - Etapas de desenvolvimento de um modelo de simulação de tráfego

2.2.1. FORMULAÇÃO

Inicialmente, é necessário definir os objetivos do modelo de simulação com base no que se pretende avaliar e estudar. Para isso, é essencial saber que tipo de informação e recursos é que estão disponíveis para serem utilizados.

Segue-se a delimitação da zona alvo de estudo onde é necessário haver alguns cuidados. A zona de estudo irá representar o sistema viário convertido em arcos e nós, sendo que a seleção das vias rodoviárias a incluir na rede são uma tarefa de elevada importância no desenvolvimento do modelo uma vez que representam a infraestrutura de transporte que servirá de suporte ao sistema viário. A seleção dos arcos deverá ser feita de forma a que a rede seja contínua e englobe as vias com tráfego considerado relevante para o estudo. A introdução de tráfego no sistema é realizada através de ligações (conectores) dos centroides à rede. Os centroides situam-se no centro geográfico das zonas e funcionam como polos de geração e atração de tráfego. Devem ligar-se à rede em estudo nos arcos com o nível hierárquico mais baixo ou de menor importância, de forma a que não interfira com os resultados do modelo que se pretende atingir.

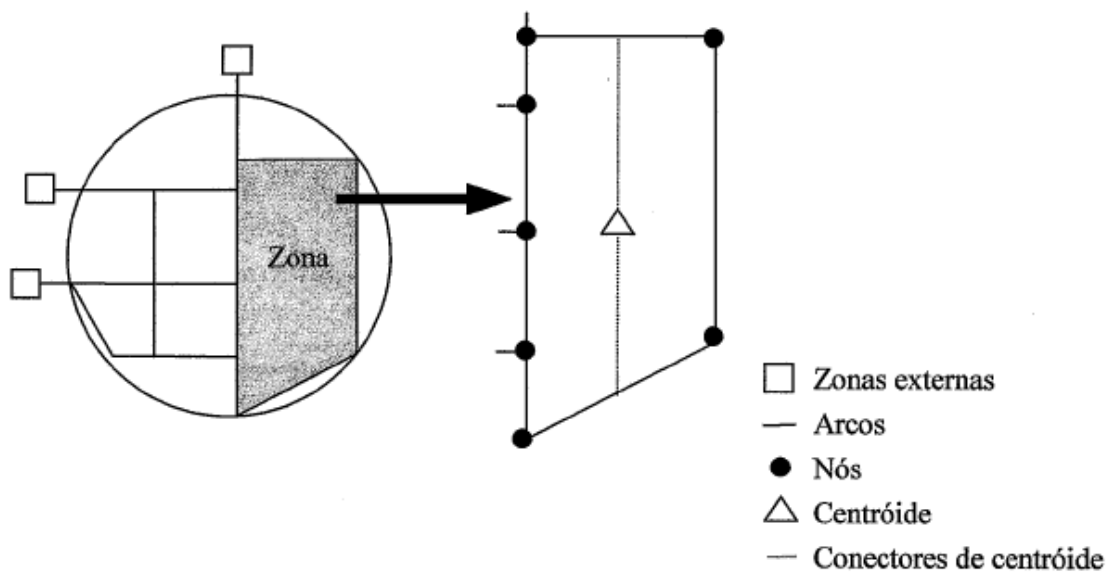


Figura 2.2 - Representação esquemática de uma rede de transportes (Tavares, 2003)

Na rede alvo de estudo, as viagens acontecem entre zonas, podendo também ser feitas dentro da mesma zona (interzonais). Delimitada a zona de estudo, será gerada uma matriz O/D (origem/destino).

Esta 1ª etapa finda com a seleção do modelo a utilizar. No decorrer do documento será abordado o tipo de modelos que existem.

2.2.2.CODIFICAÇÃO

A fase da codificação consiste no ‘arranjo’ da rede. É necessário determinar as características físicas e as variáveis de funcionamento dos arcos e nós, como por exemplo, os pontos extremos dos arcos, número de vias, sentidos, comprimento, movimentos permitidos, regras de prioridade, etc. Existem ainda as variáveis relacionadas com os veículos que podem ser divididas segundo as categorias explicadas a seguir, de acordo com a influência que possuem sobre os elementos da rede (Vilarinho, 2008; AIMSUN, 2005). Entre parênteses estão as variáveis dependentes.

2.2.2.1.Variáveis Globais

Estas variáveis descrevem o movimento de todos os veículos que circulam na rede independentemente do tipo de veículo:

- Tempo de reação (capacidade da secção);
- Tempo de reação parado (capacidade da secção);
- Velocidade de saída de fila de espera (comportamento nas *yellow box*)
- Parâmetros do modelo de mudança de via: “*Lane changing*”, %*overtake* – percentagem de velocidade que o veículo decide ultrapassar, valores entre [0;1] e % *recover* – percentagem de velocidade que o veículo decide reduzir, valores entre [0;1];

- Parâmetros do modelo “*Two lane Car-Following*”: o número de veículos, a distância, a máxima diferença de velocidades.

2.2.2.2.Variáveis da Secção Local

Este tipo de variáveis também descrevem o movimento de todos os veículos, independentemente do tipo de veículo, enquanto circulam numa secção da rede de determinada categoria:

- Velocidade máxima (tempo de viagem, velocidade média);
- Velocidade de viragem (capacidade de viragem, tempo de viragem, velocidade média);
- Distância de visibilidade (comportamento dos sinais verticais de controlo);
- Distância das zonas de mudança de via (proporções de viragem).

2.2.2.3.Variáveis Particulares do Veículo

As variáveis deste tipo descrevem o movimento de todos os veículos, mas por tipo de veículo (ligeiros, pesados, etc) em qualquer parte da rede:

- Velocidade máxima;
- Aceleração máxima;
- Desaceleração normal e máxima;
- Aceitação da Velocidade;
- Comprimento do veículo (comprimento das filas de espera).

Depois de completa a etapa da codificação, segue-se a verificação do modelo. De realçar que, na fase da calibração que será mais à frente descrita, poderá haver necessidade de alterar algumas destas variáveis acima identificadas. Acontecerá caso o modelo não seja validado, isto é, não esteja pronto para ser aplicado a um caso real.

2.2.3.VERIFICAÇÃO

Como foi possível de observar, na etapa anterior da codificação, são várias as variáveis que são introduzidas no sistema e que constituem o modelo. É, portanto, natural que existam alguns erros inerentes à codificação do próprio modelo de simulação de tráfego. A fase da verificação é a fase onde são identificados e corrigidos os erros, fase esta que é crucial no desenvolvimento do modelo para que o processo de calibração seja mais fácil.

Os erros associados à modelação de tráfego são denominados de erros de especificação, erros de agregação/simplificação, erros de transferência, erros computacionais e erros de quantificação (Vasconcelos, 2004). De seguida são apresentados os erros de uma forma mais detalhada.

2.2.3.1.Erros de especificação

São erros que resultam da não utilização de variáveis independentes relevantes e/ou de relações incorretas entre as variáveis, estando assim relacionados com a estrutura do modelo. Este tipo de erros acontece quando a situação modelada não foi bem compreendida ou então porque houve

necessidade de assumir simplificações. Os erros de especificação de um modelo acontecem quando:

Não se considera o processo de tomada de decisão do condutor, isto é, a aleatoriedade dos seus movimentos;

Se admite uma propagação instantânea dos veículos na rede, ao invés de se representar a propagação espacial dos mesmos ao longo do tempo;

Se consideram que um determinado grupo de semáforos atua com tempos fixos, quando na realidade estes são regulados e, portanto, de ciclos variáveis consoante o tráfego existente.

2.2.3.2. Erros de agregação/simplificação

São erros que são consequência da necessidade que existe em reduzir a complexidade que os modelos têm (Gonçalves, 2016). Derivam da utilização da noção de “grupos” de elementos individuais que não são homogêneos gerando assim incongruências. Estes erros acontecem quando:

Se ignora o facto de uma matriz O/D ser representativa de um determinado período temporal, isto é, quando se considera que a matriz poderá servir para retratar qualquer hora de qualquer dia;

Se os centroides, que são os pontos de geração e atração do tráfego, forem agregados de uma forma descuidada, não representando assim a geração real de tráfego.

2.2.3.3. Erros de transferência

Os erros de transferência ocorrem quando, por exemplo uma determinada rede é desenvolvida num determinado programa e é exportado para outro com características ou especificidades diferentes. São exemplos destes erros:

Quando se exporta uma rede de um *software* de macro-simulação para um de micro-simulação. O nível de detalhe de um macro-simulador é muito menor ao de um micro-simulador pelo que quando existe esta passagem de macro para micro poderão existir alguns detalhes que não estejam especificados ou modelados em micro-simulação.

Quando se utilizam programas que assumem estilos diferentes de condução. Existem algumas regras de circulação que variam consoante o país, como por exemplo, a regra da prioridade à direita, etc.

No entanto, são erros que, à partida, serão facilmente ajustáveis.

2.2.3.4. Erros computacionais

Este tipo de erros estão normalmente associados a processos iterativos (Gonçalves, 2016). Dentro desta categoria podem distinguir-se (Vasconcelos, 2004):

- **Erros de propagação:** o erro está associado a uma variável e é propagado no decorrer dos cálculos;
- **Erros de convergência:** quando a sequência dos cálculos é interrompida antes de ser atingido a solução exata (valor ótimo).

2.2.3.5. Erros de quantificação

São erros que estão relacionados com a incorreta caracterização das variáveis que são utilizadas pelo modelo. Distinguem-se:

- **Erros de medição:** acontecem aquando o processo da recolha de dados e derivam de falta de controlo de qualidade na observação em causa;
- **Erros de amostragem:** associados aos desvios introduzidos no processo de seleção do conjunto de observações da população;
- **Erros de previsão:** associados à estimação dos valores para determinadas variáveis que irão ser usadas no modelo.

2.2.3.6. Erros de codificação

Para além dos erros acima mencionados, existem ainda os erros de codificação. São chamados os erros “puros”, devido aos lapsos inerentes a qualquer tarefa de introdução de dados (Tavares, 2003). São exemplos de erros de codificação:

- Ligações incorretas;
- Sentidos trocados;
- Omissões;
- Geometrias erradas;
- Incoerência de valores;
- ...

Como se pode concluir, são vários os tipos de erros que podem existir no desenvolvimento de um modelo. Estes, depois de identificados, devem ser eliminados ou minimizados ao máximo. “A confiabilidade do simulador de tráfego está intrinsecamente relacionada à sua capacidade de reproduzir, dentro de uma margem aceitável de erro, os indicadores operacionais que representam as condições do “mundo real” (Cunto e Loureiro, 2011).

2.2.4. CALIBRAÇÃO

Após finalizada a fase da verificação (de erros), o modelo está pronto para ser “trabalhável”. No entanto, sem a calibração do mesmo, não existem certezas que o modelo vai prever corretamente o desempenho do tráfego no cenário em estudo (Dowling, Skabardonis e Alexiadis, 2004).

A calibração de um modelo é a etapa onde se procede ao “ajustamento” dos valores das variáveis atrás mencionadas, para assegurar que o modelo está a caracterizar corretamente o funcionamento real da rede. É, portanto, um processo iterativo onde os parâmetros do modelo são otimizados, de forma a obter uma boa correlação entre o que foi idealizado e a rede existente, sendo por isso um processo baseado no método tentativa-erro (Ferreira, 2008).

É perceptível que esta fase envolve a revisão e análise de enumeras variáveis/parâmetros, cada um com a sua especificidade e impacto nos resultados da simulação. Grande parte das variáveis são altamente relacionadas umas com as outras tornando-se essencial tornar a etapa da calibração mais simplificada. Dowling, Skabardonis e Alexiadis (2004) propõem assim que os parâmetros a calibrar sejam divididos em 2 categorias que sejam estudadas e tratadas de forma separada:

Parâmetros em que existe a certeza, por parte do modelador, dos seus valores e onde não há a intenção de alterar os mesmos;

Parâmetros em que essa certeza não existe e que estarão sujeitos a alterações.

O segundo conjunto de parâmetros deve ser o mais pequeno possível para facilitar todo o processo de calibração.

Acabado o processo de calibração, passar-se-á à fase da validação do modelo de simulação, fase essa que ditará se o modelo estará ou não pronto para ser aplicado.

2.2.5.VALIDAÇÃO

A validação de um modelo de simulação de tráfego consiste na aproximação do mesmo à realidade, verificando essa aproximação através das medidas de desempenho (em inglês designadas por *MOE – Measures of effectiveness*) resultantes do modelo com as do sistema real de modo a verificar a fiabilidade do mesmo (Pereira e Tavares, 2015).

A finalidade de calcular uma ou mais medidas de desempenho (*MOE*) é a de perceber se todo este processo do desenvolvimento do modelo de tráfego está a correr dentro dos trâmites esperados. Dowling (2007) identificou sete medidas de desempenho básicas, que são os alicerces da maioria dos simuladores de tráfego e têm como objetivo avaliarem o desempenho dos mesmos:

- Tempo de viagem;
- Velocidade;
- Atraso;
- Filas de espera;
- Paragens;
- Densidade;
- Variação do tempo de viagem.

O tempo de viagem, a velocidade e o atraso estão intimamente relacionados com o tempo que a população no geral gasta para concluir as suas viagens. As filas de espera são indicadoras de pontos críticos do sistema onde poderão existir problemas de capacidade da infraestrutura e/ou problemas de segurança relacionados com bloqueios de interseções ou grandes fluxos de tráfego em movimentos não prioritários. As paragens, o atraso e a velocidade são indicadores a ter em conta na otimização de ciclos de semáforos, assim como no consumo de combustível e poluição do ar causada pela emissão de gases por parte dos veículos.

Por adição, existem dois indicadores bastante usados que espelham diretamente o bom ou mau desempenho de uma determinada rede:

- Níveis de Serviço;
- Volume/Capacidade.

As medidas de desempenho são medidas que permitem ao utilizador do modelo perceber com alguma facilidade se o modelo está ou não bem calibrado.

Em síntese, na etapa da validação é então feita a comparação entre os dados de saída produzidos no simulador de tráfego com dados medidos a partir de uma situação real de tráfego, dados esses que serão distintos e independentes dos usados na fase de calibração. Um modelo para ter validade

terá de apresentar uma boa relação entre os valores simulados e observados, dentro do erro admissível. Desta forma, estará preparado para ser finalizado e aplicado.

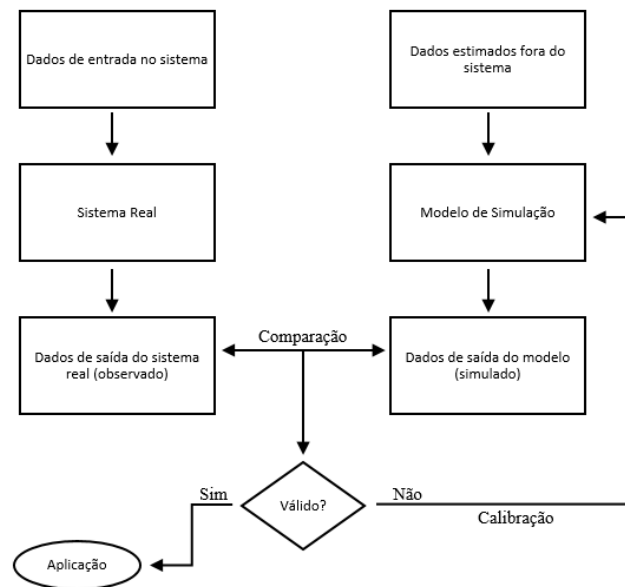


Figura 2.3 – Fases da validação de um modelo (Barceló, 2010)

De realçar que um modelo bem calibrado não é necessariamente validado e, posteriormente sujeito a aplicação.

2.2.6.APLICAÇÃO

Uma vez que todas as tarefas anteriores estão realizadas, encontrando-se o modelo corretamente calibrado e validado, segue-se a aplicação do mesmo. A partir daqui, efetuar-se-á a análise de resultados do caso que será alvo de estudo assim como possíveis cenários alternativos.

2.3.CRITÉRIOS DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Existem alguns métodos para avaliar os resultados produzidos pelo modelo de tráfego e, segundo Morgan e Veysey (2013) os métodos mais utilizados são o índice *GEH* (*Geoffrey E. Havers*) e o *RMSE* (*Root Mean Squared Error*). Neste subcapítulo, é ainda apresentado o Gráfico de Dispersão, outro método utilizado para a calibração dos modelos de tráfego.

2.3.1.ÍNDICE *GEH*

O Índice *GEH* é um método estatístico baseado no teste do *chi-quadrado* e é usado para comparar volumes de tráfego modelados e volumes de tráfego observados (contagens). Este índice pode ser calculado individualmente para cada secção ou então para toda a rede (Pereira e Tavares, 2015; Vilarinho, 2008):

$$GEH = \sqrt{\frac{(V_O - V_M)^2}{0,5 (V_O + V_M)}}$$

OU:

$$GEH = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_1^n \frac{(V_O - V_M)^2}{0,5 (V_O + V_M)}}$$

Com:

V_O – Volume de tráfego observado numa hora;

V_M – Volume de tráfego modelado numa hora;

n – número total de observações

Esta fórmula foi inventada por Geoffrey E. Havers em 1970 na Câmara Municipal de Londres e pode ser interpretada como a raiz quadrada da diferença absoluta ($V_O - V_M$) pela diferença relativa ($\frac{(V_O - V_M)}{0,5 (V_O + V_M)}$), podendo ainda considerar-se que o índice *GEH* incorpora tanto os erros relativos como os erros absolutos. A diferença relativa é calculada pela média dos valores observados e modelados no denominador de modo a evitar eventuais problemas se algum destes valores for nulo (Vilarinho, 2008). A fórmula é projetada para tolerar erros maiores em fluxos de tráfego mais baixos. A razão da utilização deste índice é a incapacidade da diferença absoluta ou relativa de lidar com uma ampla gama de fluxos de tráfego (Morgan e Veysey, 2013).

Existem abordagens um pouco diferentes sobre o valor mais correto a admitir para o índice *GEH* como é possível observar no quadro abaixo representado. Morgan e Veysey (2013) definem que um valor do índice *GEH* inferior a 5 para 95% dos casos de uma secção individual é um valor aceitável. No entanto, Dowling, Skabardonis e Alexiadis (2004) definem o mesmo intervalo de valores para o índice *GEH* mas aceitam que este seja referente apenas a 85% dos casos.

Quadro 2.1 – Diferentes abordagens para os índices *GEH*

Abordagem	% Casos observados	<i>GEH</i>	Tipo de observação
Morgan e Veysey (2013)	95	<5	Para uma secção individual
Dowling, Skabardonis e Alexiadis (2004)	85	<5	
Dowling, Skabardonis e Alexiadis (2004)	100	<4	Para a soma das várias secções

No quadro abaixo é possível observar a variação do índice *GEH* quando a diferença entre os volumes modelados e os volumes observados são de 10%, mas a ordem destes volumes é diferente. Observa-se também que iguais valores do índice *GEH* podem dizer respeito a diferenças percentuais bastante díspares dos valores dos volumes de tráfego observados e modelados.

Quadro 2.2 - Análise comparativa do índice GEH com a diferença percentual dos valores observados e modelados (Transport For London, 2010)

VO	VM	GEH	Diferença (%)
10000	9000	10.3	10
1000	900	302	10
100	90	1	10
10000	9520	4.9	5
1000	850	4.9	18
100	57	4.9	75

2.3.2. RMSE

O Erro Quadrático Médio (*RMSE*) são medidas estatísticas de correlação entre a totalidade dos dados de contagem definidos e o total dos volumes que o modelo previu. Ao contrário do índice *GEH* (que se aplica aos fluxos individuais), o *RMSE* aplica-se a todo o conjunto de dados de comparação e é expresso como um valor único (Gonçalves, 2016; Morgan e Veysey, 2013). O *RMSE* é expresso pela equação:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum (V_o - V_M)^2}{C - 1}}}{\frac{\sum V_o}{C}} \times 100$$

Com:

V_o – volume de tráfego observado numa hora;

V_M – volume de tráfego modelado numa hora;

C – número de locais de contagem.

Segundo Morgan e Veysey (2013) o valor de *RMSE* não deverá ser menor ou igual a 30.

2.3.3. GRÁFICO DE DISPERSÃO

O gráfico de dispersão é outro método utilizado para avaliar os resultados produzidos pelo modelo de simulação de tráfego. Trata-se de um método onde se representa num gráfico os valores das variáveis observadas e simuladas onde o objetivo é o de observar de uma forma simples e direta as divergências entre estes valores.

Existem duas abordagens diferentes para estudar estes valores. Barceló (2010) apresenta um gráfico de dispersão com os valores observados e simulados de um determinado caso de estudo, associados a uma reta de regressão e um intervalo de confiança de 95%. Quanto menor for o R^2

associado e quanto menos forem os pontos fora do intervalo de confiança melhor é o resultado deste estudo e, consequentemente, melhor é a simulação.

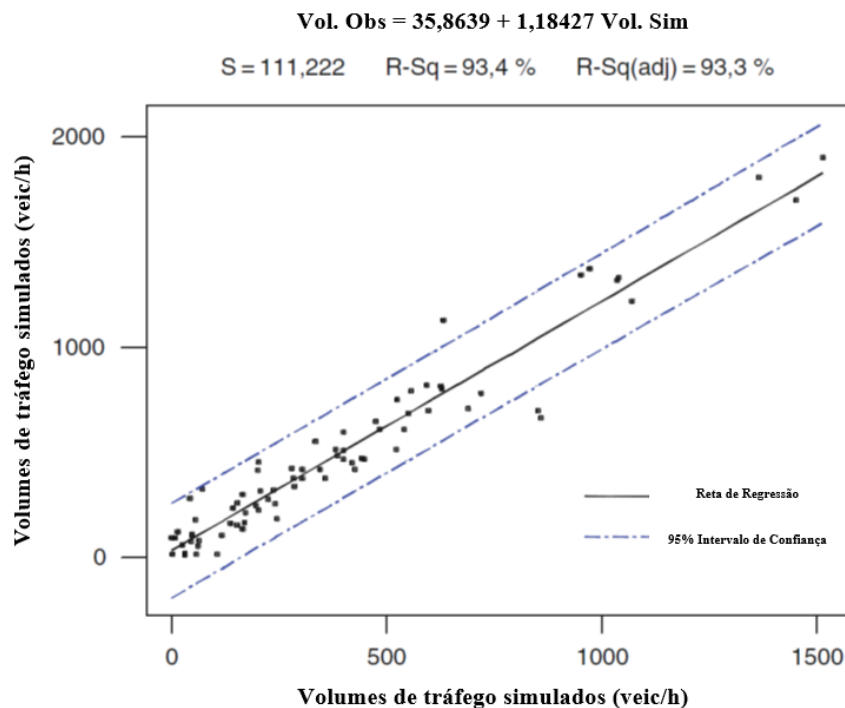


Figura 2.4 - Gráfico de dispersão (Barceló, 2010)

Haas (2000) representou num gráfico de dispersão os valores modelados e os valores observados de um determinado caso de estudo, mas neste caso, associados a uma reta de regressão linear de declive igual a 1 ($y = x$). Desta forma, os valores deixam de ser comparados a um intervalo de confiança, mas são comparados à reta $y = x$. Assim, quanto mais próximos os pontos estiverem dessa reta, ou seja, quanto maior for o coeficiente de R^2 , melhor será a qualidade da simulação.

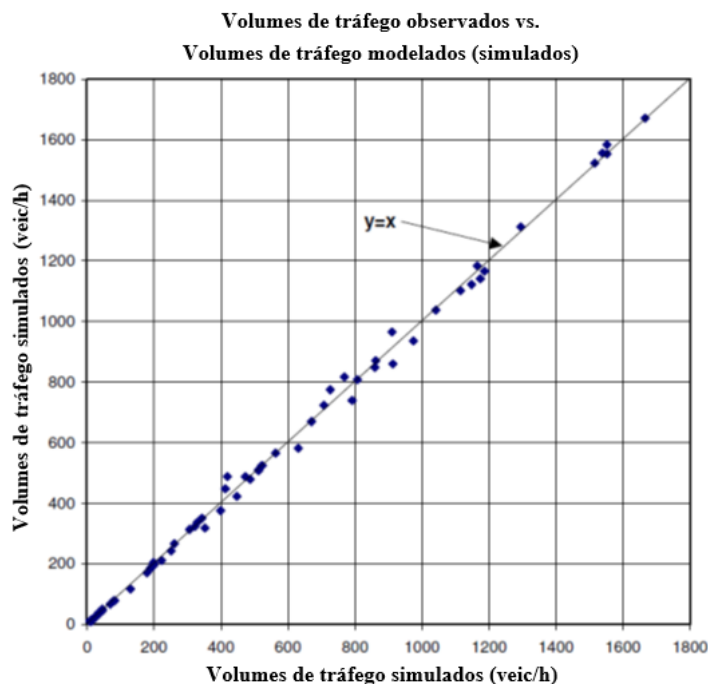


Figura 2.5 - Gráfico de dispersão (Haas, 2000)

2.4. CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Segundo Vilarinho (2008) os modelos de tráfego podem ser classificados de acordo com algumas características fundamentais:

Escala temporal (modelos contínuos ou modelos discretos);

Representação do processo (determinística ou estocástica);

Nível de detalhe (sub-microscópicos, microscópicos, mesoscópicos ou macroscópicos).

Hoogendoorn e Bovy (2001) consideram ainda que os modelos de tráfego podem ser classificados de acordo com a sua escala de aplicação (redes, arcos ou nós) e também segundo o seu funcionamento (analíticos ou simulação).

2.4.1. ESCALA TEMPORAL

Os modelos de simulação de tráfego podem ser estáticos ou dinâmicos. Relativamente aos modelos estáticos assume-se que as variáveis (p.e. da procura) permanecem constantes ao longo do período temporal de estudo, enquanto que no que diz respeito aos modelos dinâmicos as variáveis estão sujeitas a variação ao longo do tempo. Como quase todos os modelos de tráfego descrevem sistemas dinâmicos, é natural que os modelos dinâmicos sejam classificados tendo em conta a escala temporal como variável independente (Hoogendoorn e Bovy, 2001). Assim:

- **Modelos contínuos:** o tráfego muda continuamente ao longo do tempo, num sistema de solicitações contínuas;
- **Modelos discretos:** as alterações no tráfego acontecem de forma descontínua ao longo do tempo em intervalos de tempo discretos/semi-discretos.

2.4.2. REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO

A representação dos modelos de simulação de tráfego numa rede pode ser feita por uma abordagem determinística ou estocástica:

- **Determinística:** modelos que não consideram a aleatoriedade, descrevem as variáveis de uma forma analítica, ou seja, os seus comportamentos na rede são conhecidos. Para sucessivas simulações de um mesmo caso, com um modelo determinístico, resultam sempre na mesma distribuição de fluxos (Vasconcelos, 2004);
- **Estocástica:** modelos que, ao contrário da abordagem determinística, tentam refletir a aleatoriedade das variáveis intervenientes o que implica obter resultados diferentes para as várias simulações.

2.4.3. NÍVEL DE DETALHE

Na classificação dos modelos de simulação de tráfego, o nível de detalhe é a categoria mais usual e objetiva para classificar estes modelos. O nível de detalhe está relacionado com a escala que se pretende estudar na simulação. Nesta categoria, os modelos são normalmente classificados como microscópicos, mesoscópicos e macroscópicos. Existem alguns autores que também classificam os modelos de tráfego como sub-microscópicos, híbridos ou até nanoscópicos.

Modelos sub-microscópicos: modelos com alto nível de detalhe que descrevem o funcionamento das partes do veículo, o seu comportamento pormenorizado e do seu condutor (por exemplo a mudança de velocidade na caixa) (Vilarinho, 2008);

Modelos microscópicos: modelos que avaliam e representam o comportamento do veículo como uma entidade assim como a interação que este tem com o veículo que imediatamente o segue;

Modelos mesoscópicos: modelos que assumem um nível de detalhe intermédio quando comparados com os modelos microscópicos e macroscópicos e não distinguem o comportamento individual do veículo, mas sim grupos de veículos (pelotões);

Modelos macroscópicos: modelos de menor detalhe, representam o fluxo de trânsito de uma forma agregada, isto é, como um todo, não fazendo assim distinção entre as partes que o constituem;

Modelos híbridos: modelos que, em função das necessidades ou dos dados disponíveis, representam uma parte da rede modelada à escala microscópica e outra parte à escala mesoscópica. Desta forma é possível áreas mais extensas sem grandes capacidades computacionais, estudando ao detalhe zonas de maior interesse, sem perda de sensibilidade quanto ao estado da restante rede (Gamboa, 2016);

Modelos nanoscópicos: modelos que visam representar os indicadores de desempenho e a determinação de custos em cada parte do trajeto que um só indivíduo faz. Pretendem determinar, por cada indivíduo, o tempo, custo e distância percorrida em TI, TP e modo pedonal enquanto que, paralelamente, simulam o tempo de espera de TP e o preço do parque de estacionamento (Gamboa, 2016).

Na imagem representada na Figura 2.6 é possível ver a comparação do nível de detalhe entre os modelos microscópicos, mesoscópicos, macroscópicos e híbridos. No próximo subcapítulo serão aprofundadas as abordagens microscópicas e macroscópicas, uma vez que o trabalho realizado nesta dissertação usou modelos de simulação de tráfego com esses níveis de detalhe sendo estes níveis também os mais comumente utilizados.

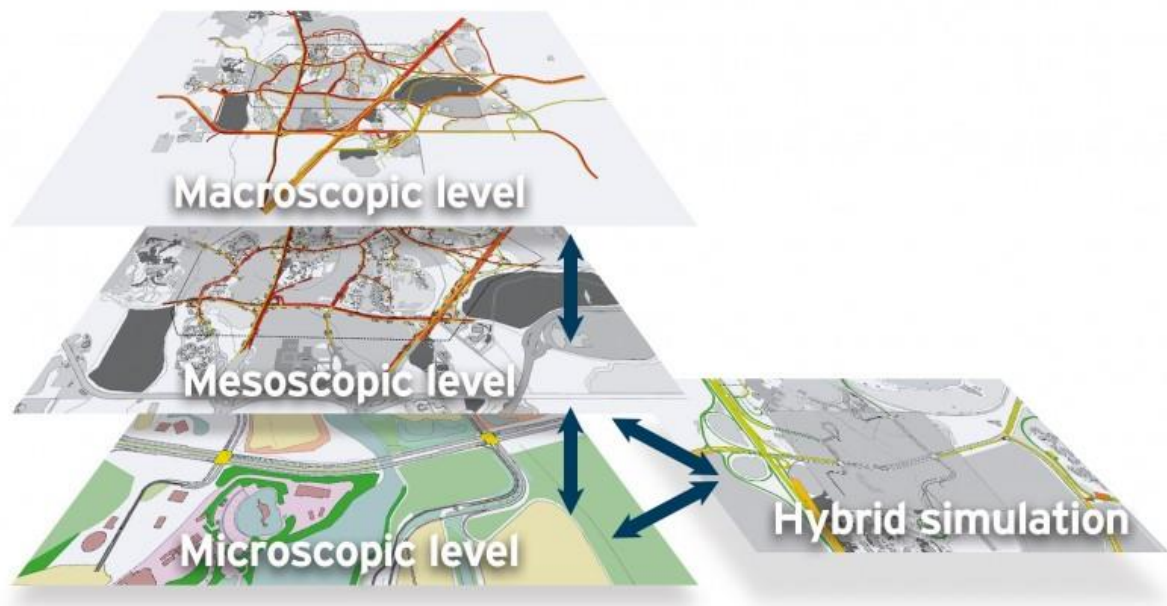


Figura 2.6 - Comparação do nível de detalhe entre os modelos macroscópicos, microscópicos, mesoscópicos e híbridos (Barcelo, 2014)

2.5.MACROSSIMULAÇÃO *VERSUS* MICROSSIMULAÇÃO

Foi possível observar-se no subcapítulo anterior a existência de uma enorme variedade de tipos de modelos de simulação que são aplicados na Engenharia de Tráfego. De uma forma global, o as abordagens mais utilizadas na modelação de tráfego são as abordagens microscópica e macroscópica. Uma vez que nesta dissertação os programas utilizados são deste nível de detalhe trata-se importante aprofundar melhor os conhecimentos destas duas abordagens.

2.5.1.MACROSSIMULAÇÃO

Um modelo de nível de detalhe macroscópico representa as correntes de tráfego de forma ininterrupta, em que os vários estados de tráfego são determinados com base nas relações entre as variáveis fundamentais do tráfego, isto é velocidade, débito e concentração como é possível de ver na figura 2.7.

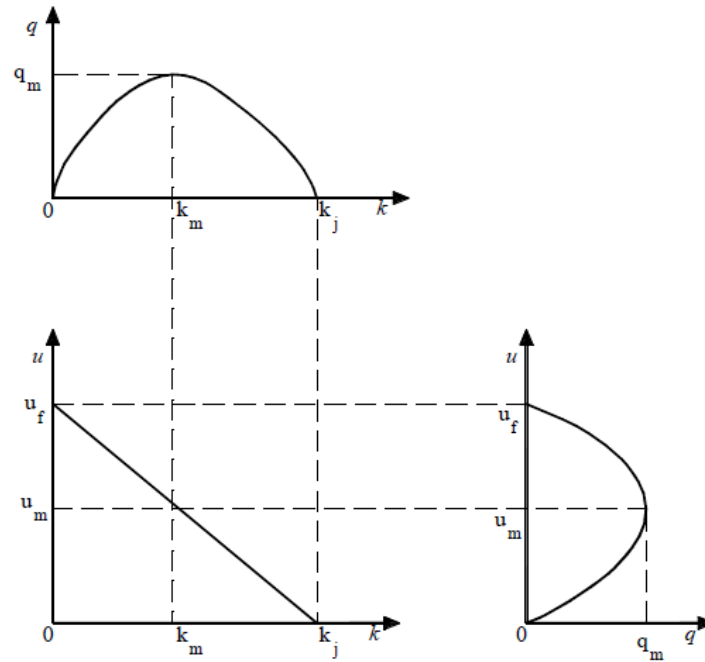


Figura 2.7 - Relação entre as variáveis velocidade, débito e concentração

A relação fundamental entre estas três variáveis macroscópicas dá-se pela equação:

$$u_s = \frac{q}{k}$$

Onde:

u_s – velocidade espacial [km/h]

q – débito (fluxo de tráfego) [veic/h]

k – concentração (densidade) [veic/km]

O facto de os modelos de simulação macroscópica funcionarem desta forma, implica que simples ações tais como a mudança de via dos veículos não sejam consideradas. Ao contrário dos modelos de simulação microscópica, consomem menor volume de dados e exigem menos esforço computacional para serem executados. Desta forma, a aplicação deste tipo de modelos e a sua consequente manutenção são mais rápidas e fáceis de executar, tornando-se modelos apropriados para serem aplicados a estudos de grande dimensão (Alegre, 2003). Assim, são os modelos mais apropriados quando os resultados de maior interesse são, por exemplo, os volumes. A descrição dos detalhes microscópicos é realizada de um modo simplista, como por exemplo a alteração da topologia da rede. Deste modo, a representação da realidade será muito menos precisa.

A relação existente entre os dados introduzidos num modelo macroscópico e os resultados obtidos quando este é aplicado é praticamente direta. O processo de calibração é, desta forma, muito mais simples do que nos modelos microscópicos. Em síntese, o uso da modelação macroscópica é indicado quando:

- Os elementos a analisar dispensam a interação entre os veículos;
- A dimensão da rede é de tal maneira extensa que se torna inviável a utilização de modelos de grande nível de detalhe;

- O tempo e os recursos disponíveis para o desenvolvimento do modelo de tráfego são limitados.

2.5.2.MICROSSIMULAÇÃO

Nos últimos anos tem-se verificado um enorme crescimento da utilização de modelos de simulação microscópica de tráfego. Devido ao seu enorme nível de detalhe, são capazes de recriar com elevada precisão numa rede objeto de estudo, o movimento individual dos veículos no sistema de tráfego. Este modelo considera o comportamento dos condutores e das características dos seus veículos. As suas potencialidades têm tornado a simulação numa ferramenta importante na Engenharia de tráfego uma vez que permitem o estudo de cenários com elevada precisão e detalhe e, também, a facilidade em analisar cenários alternativos.

A simulação dos veículos na rede assenta num conjunto de variáveis em que se destacam os submodelos de *car-following*, *lane changing* e *gap acceptance*.

2.5.2.1.Car-following

Os modelos de *car-following* procuram representar o processo através do qual os condutores determinam a sua velocidade e espaçamento em relação aos veículos que estão á sua frente, tratando-se assim de um comportamento estímulo-resposta (Noronha, 2016). Os algoritmos que descrevem este fenómeno são responsáveis pela interações/conflitos longitudinais que possam levar à ocorrência de colisões traseiras (Cunto e Loureiro, 2011).

2.5.2.2.Lane changing

Estes modelos representam o processo de decisão do condutor que pretende mudar de via e existam condições favoráveis para a execução da manobra. Esta mudança de via poderá ser devida a veículos parados ou a circular a velocidade reduzida na via, pelo fim da via em que o condutor está a circular ou por necessidade de mudar para uma via que possibilite um movimento diferente da via em que se encontrava antes.

2.5.2.3.Gap acceptance

Os modelos de gap acceptance representam o processo de tomada de decisão dos condutores que circulem numa via secundária e têm a intenção de cruzar ou inserir-se na via principal ou então efetuar inversão de marcha. Neste caso, os tipos de interações/conflitos existentes são no sentido transversal da via ou faixa, que podem acarretar uma enorme gravidade uma vez que as diferenças de velocidade dos veículos poderão ser bastante elevadas.

2.6.MICROSSIMULADOR VISSIM

O VISSIM é um dos principais programas de simulação microscópica de tráfego. É um modelo realista e preciso em todos os seus detalhes e, portanto, é um programa que cria as melhores condições para se testar cenários de tráfego alternativos antes da sua implementação na realidade. É atualmente utilizado em todo o mundo no setor público, empresas de engenharia e universidades.

Para além do transporte privado (individual), este programa permite também modelar o transporte público rodoviário e ferroviário, bem como o fluxo de pedestres. O modelo VISSIM pode ser desenvolvido e servir de ferramenta para vários tipos de problema. Algumas áreas de estudo onde este modelo pode ser aplicado são:

- Comparação da geometria de nós;
- Planeamento do desenvolvimento do tráfego;
- Análises de capacidade;
- Sistemas de controlo de tráfego;
- Operações de sistemas de sinalização;
- Simulação de transporte público.

O VISSIM é baseado num modelo de percepção psicofísica desenvolvido por Wiedemann (1974). O conceito básico deste modelo diz que um motorista que esteja a descrever um movimento mais rápido começa a desacelerar a partir do momento que percebe um veículo mais lento. Visto que o motorista não consegue determinar exatamente a velocidade do outro veículo, irá reduzir a sua velocidade até esta ser menor que a do veículo inicialmente mais lento. Depois disso, o motorista irá acelerar novamente após ter tido uma nova percepção de velocidades, pois agora ele encontra-se a uma velocidade inferior ao do outro veículo. Em suma, há uma constante aceleração e desaceleração do veículo. O comportamento do veículo funciona em função da velocidade e da distância.

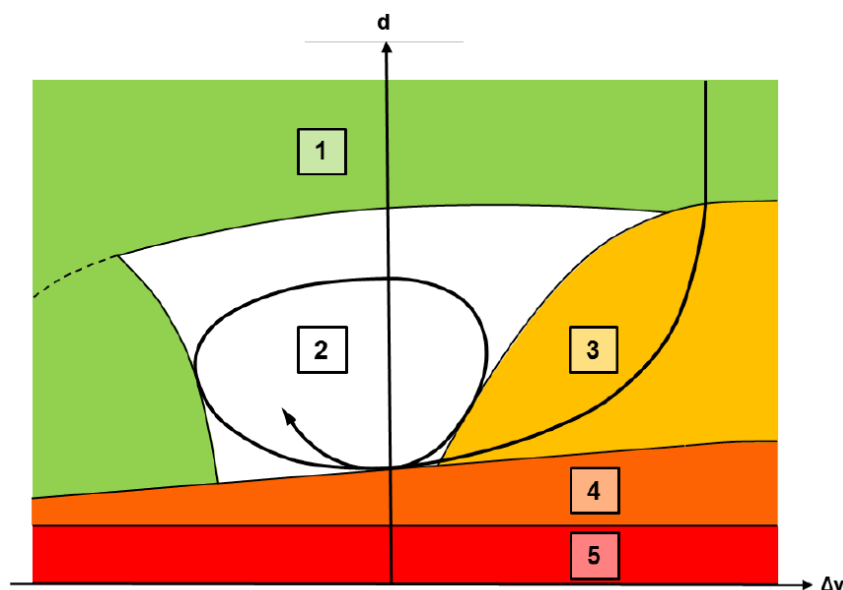


Figura 2.8 - Modelo de *car-following* de acordo com Wiedemann (1974)

A figura 2.8 representa o modelo car-following de acordo com Wiedemann (1974), onde o eixo das abcissas representa a variação de velocidade e, no eixo das ordenadas, a distância. Os números presentes na figura têm o seguinte significado:

1. Situação de circulação livre;
2. Situação de seguimento;
3. Situação de aproximação;
4. Situação de frenagem;
5. Situação de colisão.

A seta representa o modo de circulação do veículo que, começa num estado de circulação livre e desimpedida, seguindo-se a perceção de um novo veículo a uma velocidade diferente e, por fim, entrando num estado de seguimento (pelotão).

3 CONSTRUÇÃO DO MODELO

3.1.ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DA ZONA ALVO DE ESTUDO

A cidade do Porto é conhecida pela sua tradição e antiguidade, características que a tornam única. São, no entanto, características que tornam o planeamento da mobilidade da cidade do Porto um desafio constante. A hierarquização viária da cidade é bastante confusa e complexa pelo que qualquer alteração que esteja prevista acontecer em algum ponto da cidade, acarreta bastantes preocupações e análises/estudos. Na presente dissertação, foi escolhida uma zona tradicionalmente conhecida por possuir elevado volume de tráfego e congestionamentos problemáticos: a “zona do Carvalhido”. Na imagem 3.1, é possível observar a zona da cidade escolhida para alvo de estudo, que se apresentará com pormenor mais à frente.

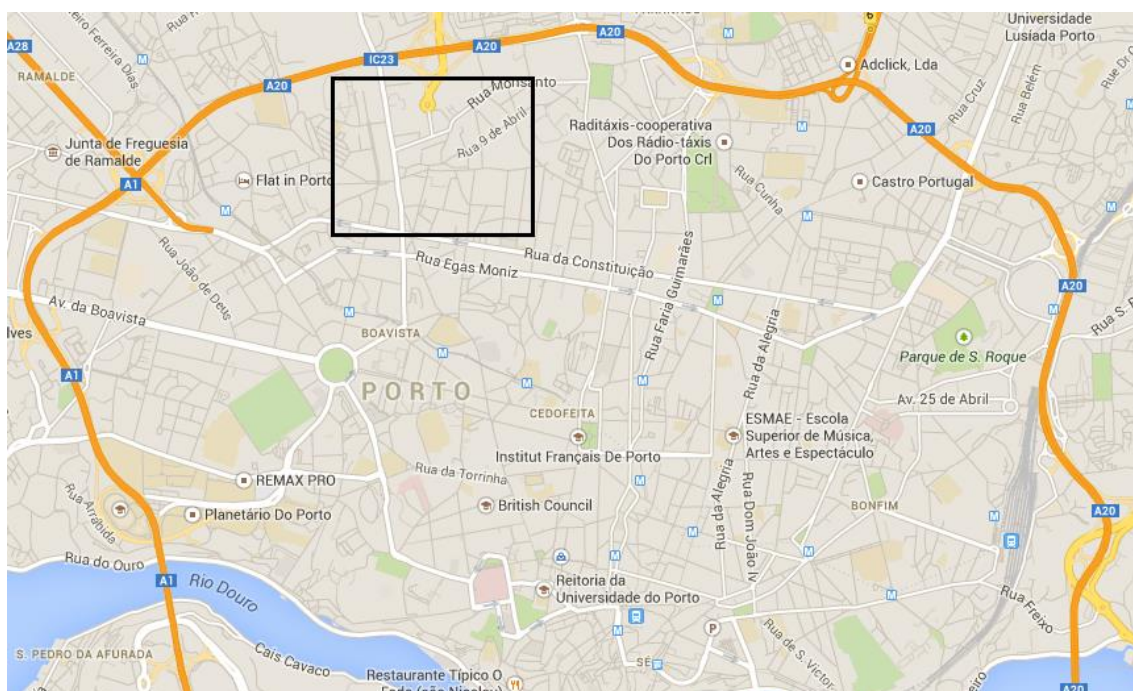


Figura 3.1 - Escolha da zona de estudo

Como já foi mencionado anteriormente, é, nesta zona, que a rede viária vai ser modelada através do modelo de simulação de tráfego VISSIM. O objetivo é o de recriar a rede existente e analisá-la e, depois, criar propostas de cenários alternativos com o intuito de melhorar a circulação rodoviária na zona.



Figura 3.3 - Sub-rede gerada em VISUM após o corte

Os ‘nós’ são os objetos da rede que definem a posição das interseções da rede modelada. Os arcos começam e terminam em nós sendo que estes elementos também constituem os pontos onde se dão as viragens (*turns*) de um arco para o outro representando assim os cruzamentos.

Os arcos ligam os nós e podem ser usados por um conjunto de sistemas de transporte (transporte individual, transporte público, andar a pé, etc.) e, deste modo, descrever a infraestrutura rodoviária. Um arco nos simuladores de tráfego tem um sentido particular, pelo que se existir o sentido oposto desse mesmo arco, é considerado outro elemento da rede. Cada arco pode especificar a velocidade em que nele se circula, os meios de transporte que nele circulam, assim como o número de vias ou se existe 1 ou 2 sentidos. De realçar que, como os arcos que têm 2 sentidos representam elementos diferentes na rede, podem ter características diferentes. Os arcos podem então caracterizar-se pelos seguintes atributos:

- Sistema de transporte permitido;
- Capacidade rodoviária por via;
- Número de vias;
- Velocidade base para o sistema de transporte individual;
- Velocidade mínima para o sistema de transporte individual;
- Velocidade máxima permitida para cada sistema de transporte individual;
- Velocidade por defeito para cada sistema de transporte coletivo.

A afetação de tráfego no simulador de tráfego VISUM é realizada através de uma matriz O/D, matriz esta que foi criada com base em contagens realizadas em novembro de 2017. Estas contagens foram realizadas ao nível do concelho, em vários pontos da cidade e durante três dias da semana: terça-feira, quarta-feira e quinta-feira. Como mostra a tabela 3.1, durante as manhãs as contagens foram realizadas entre as 7h e as 9h30 e, durante as tardes, entre as 17h30 e as 19h30. Concluiu-se posteriormente que a Hora de Ponta da Manhã (HPM) ocorre das 8h15 às 9h15 e, que a Hora de Ponta da Tarde (HPT) ocorre entre as 17h30 e as 18h30. Com base nas contagens destes dois períodos de tempo, HPM e HPT, foi construída a matriz O/D para a manhã e para a tarde.

Quadro 3.1 - Períodos de estudo e horas de ponta para a manhã e para a tarde

Período de estudo	Horas de Ponta
7h – 9h30	8h15 – 9h15 (HPM)
17h30 – 19h30	17h30 – 18h30 (HPT)

Ao ser gerada uma sub-rede, o módulo *Subnetwork generator* considera os caminhos da afetação existente e são geradas novas zonas nas interfaces da rede, isto é, onde fluxos de tráfego entram ou saem da rede em estudo. A matriz original O/D é então ajustada e transformada numa matriz “parcial” que terá como origens e destinos as estas novas zonas.

No entanto, depois de se efetuar o corte da matriz foi necessário proceder-se a alguns ajustes na rede. Aparentemente, a geração de algumas das novas zonas foi aleatória tendo-se verificado que algumas delas foram geradas no meio da rede, por exemplo no meio de arcos. Deste modo, verificou-se existir conectores sobrepostos com arcos e, conseqüentemente a entrada e saída de veículos localizavam-se no meio das vias. Foi então necessário calibrar a rede de forma a que a atração e geração de viagens acontecesse nas extremidades da rede. Seguiu-se então a uma reorganização das zonas geradas, assim como dos conectores, pelo que houve necessidade de mover e eliminar alguns conectores e algumas zonas, redistribuindo o tráfego, sempre que necessário por outras zonas. Foram também eliminadas zonas que não possuíam geração ou atração de veículos.

Finalizada a calibração no modelo de simulação de tráfego VISUM, a rede foi então exportada para o VISSIM. Com a rede, foram exportadas também as rotas dos veículos e a matriz O/D (elementos associados à procura de tráfego). Ao exportar é necessário especificar o intervalo de tempo a que corresponde a matriz, que neste caso é de 1h.

Nesta dissertação optou-se por estudar e simular o modelo para o período da tarde (HPM) uma vez que os dados disponíveis para efetuar a validação do modelo apenas existem para esse período do dia. São dados independentes dos usados para efetuar a calibração do modelo, como é suposto na validação de um modelo de tráfego. É importante realçar que as origens e os destinos estão representados na matriz através de nós e zonas. As zonas, exibidas a amarelo e, os nós, exibidos a vermelho, estão representados na figura 3.4.

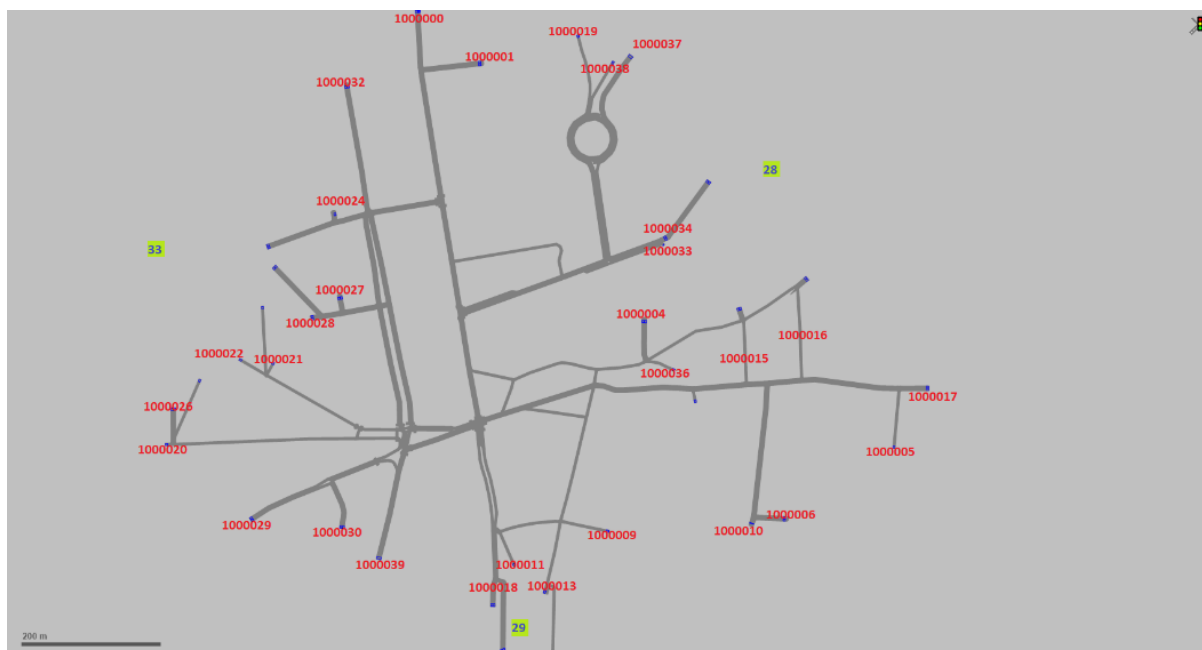


Figura 3.4 - Representação dos nós e das zonas da rede

3.3.CALIBRAÇÃO DA REDE (VISSIM)

Uma vez importada a rede proveniente do simulador VISUM, continuou-se a proceder à calibração da mesma. Sendo o simulador de tráfego VISSIM um modelo microscópico, isto é, com um maior nível de detalhe relativamente ao VISUM, existem ainda aspetos a calibrar. A rede resultante da importação é a que está presente na figura 3.5.

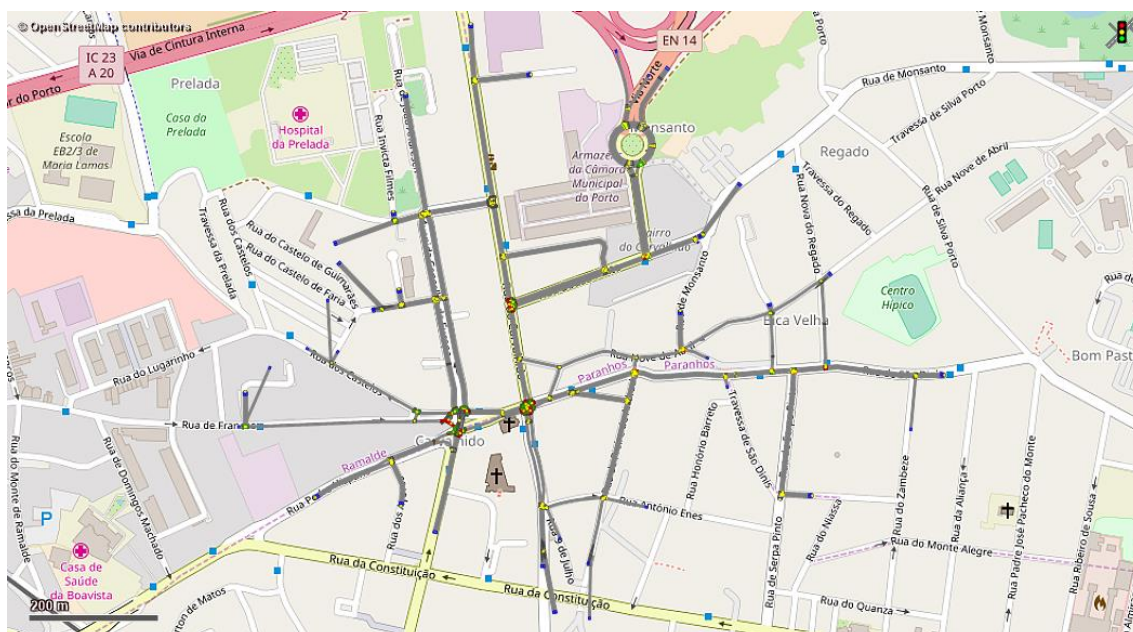


Figura 3.5 - Rede modelada em VISSIM

3.3.1. PERÍODO A AVALIAR (*EVALUATION TIME*)

Nesta dissertação decidiu-se avaliar apenas o período referente à Hora de Ponta da Tarde (17h30 – 18h30), uma vez que as contagens que irão ser utilizadas para validar o modelo só existem para o período da tarde.

Aquando a importação da rede proveniente do VISUM, foi necessário escolher o intervalo de tempo sobre o qual iriam ocorrer as avaliações do sistema (*Evaluation time*). Ao iniciar-se uma simulação no programa, este leva algum tempo a introduzir os veículos na rede viária até que esta represente algo parecido com a realidade. De forma a que este período inicial não interferisse com a avaliação do desempenho da rede, foi considerado um intervalo de tempo de 1 hora e 15 minutos (4500s) onde os primeiros 15 min. servem de *warm-up*.

A avaliação do desempenho da rede só recairá, no entanto, sobre a HPT.

3.3.2. DYNAMIC ASSIGNMENT VS. STATIC ASSIGNMENT

De seguida, foi necessário escolher o modo como os veículos circulam na rede: através de uma distribuição estática (*static assignemt*) ou de uma distribuição dinâmica (*dynamic assignemt*).

Se a distribuição for estática, os veículos irão percorrer as rotas pré-definidas manualmente. Isto significa que, na simulação, o condutor vai realizar sempre o mesmo caminho desde o ponto inicial até ao ponto final do seu trajeto, não existindo qualquer processo de decisão por parte do condutor. Quando a rede simulada cresce, as opções possíveis para realizar um determinado percurso aumentam. Desta forma, torna-se cada vez mais difícil e complexo inserir todos os caminhos possíveis para cada par O/D. À semelhança do que acontece na realidade, é possível escolher mais do que um caminho para chegar ao destino pretendido. No entanto, a distribuição estática não assume este tipo de comportamento.

Existem vários fatores que influenciam o processo de tomada de decisão de um condutor no que diz respeito ao caminho escolhido para chegar ao destino que pretende. A procura pode variar significativamente durante o dia, assim como a rede viária pode ter características distintas em função da hora do dia resultantes por exemplo, dos tempos dos ciclos dos semáforos, influenciando assim, a escolha de um caminho por parte do condutor. A distribuição dinâmica tem em conta estes fatores inerentes às decisões do condutor.

É importante realçar que, utilizando a distribuição estática, qualquer alteração na rede exige alterações a montante uma vez que os volumes de tráfego e os percursos são definidos no VISUM. Na distribuição dinâmica, as cargas definidas no VISUM estão associadas a uma matriz O/D, que é exportada para o VISSIM, o que significa que caso haja alguma alteração na rede modelada em VISSIM, o tráfego pode ser reafectado e de acordo com essas alterações sem necessidade de alterar a montante.

É também importante referir que na distribuição dinâmica no VISSIM é tida em consideração que nem todos os condutores escolhem o melhor caminho optando por caminhos menos atrativos.

A distribuição do tráfego pelos caminhos é realizada por um processo iterativo sendo que as condições do tráfego se alteram de iteração para iteração. Depois de efetuada a primeira iteração, nas seguintes o condutor vai ter em consideração os resultados das iterações anteriores. Consequentemente, ao longo das iterações, a escolha de caminhos vai-se alterando.

Apesar da distribuição estática ser mais usada, nesta dissertação e para este caso de estudo, foi utilizada a opção de distribuição dinâmica baseada nos volumes, aproximando assim o modelo da realidade.

3.3.3. TRATAMENTO DA REDE

Depois de escolhido o modo como os veículos são distribuídos na rede, procedeu-se ao tratamento da rede. Foram definidas as áreas de conflito, assim como a geometria de algumas secções da infraestrutura viária como descrito nos subcapítulos seguintes.

3.3.3.1. Áreas de conflito (*Conflict areas*)

As áreas de conflito são automaticamente definidas pelo *VISSIM* e ocorrem sempre que dois arcos ou dois conectores se sobrepõem, ou seja, quando existe uma sobreposição/conflito de movimentos.

No *VISSIM*, as áreas de conflito são apresentadas como aparece na figura 3.6, onde os movimentos dos veículos são representados por uma de três cores (amarelo, verde ou vermelho). Por defeito, a área de conflito encontra-se na situação A, em que todos os movimentos se encontram com a cor amarela, o que significa que estamos perante uma situação passiva onde não existe qualquer movimento prioritário especificado. Na situação B, os movimentos estão representados a vermelho, situação onde existe ramificação de um dos arcos e em que, como na situação anterior, não existe um movimento prioritário. No entanto, com esta configuração, os veículos conseguem-se “observar” e, desta forma, permanecer na sua sequência original esperando pela melhor oportunidade para avançar. Neste caso o veículo que chegar primeiro à área de conflito terá prioridade para avançar em primeiro lugar. Por fim, nas situações C e D um dos movimentos está representado com a cor verde e o outro com a cor vermelha. Quer isto dizer que o movimento com a cor verde terá prioridade sobre o outro.

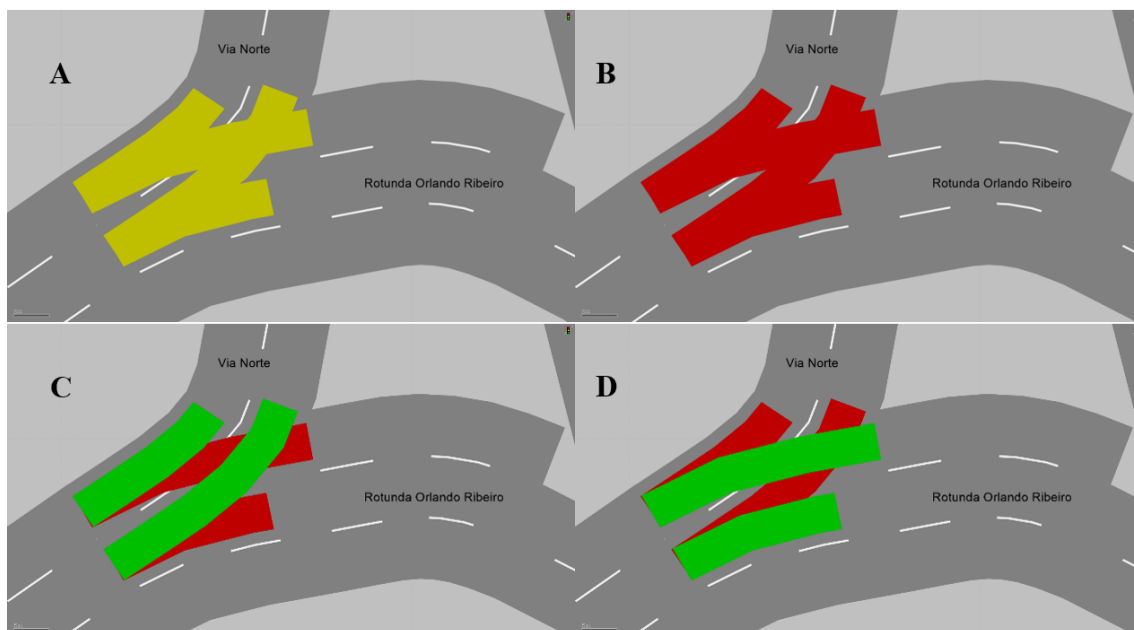


Figura 3.6 - Exemplo de uma área de conflito

As áreas de conflito permitem modelar o comportamento dos veículos de uma forma mais precisa e simples que as regras de prioridade. Um veículo sem prioridade e que esteja em espera, vai decidir o melhor momento para entrar na área de conflito depois de esta se tornar “livre”. É aqui que entra o processo de tomada de decisão do condutor: se este achar que tem tempo suficiente

para passar a área de conflito então irá avançar. No entanto, se esse não for o caso irá esperar por uma nova e melhor oportunidade. Esta decisão baseia-se no modelo de “*gap acceptance*”.

O processo de tomada de decisão dos veículos prioritários é semelhante uma vez que estes têm em conta a ocupação da área de conflito. Se a área de conflito estiver ocupada, então estes veículos irão abrandar a sua circulação, podendo até mesmo parar.

Neste caso de estudo, as áreas de conflito foram modeladas de acordo com a realidade, baseando-se em dois princípios:

- Dar prioridade às vias principais de tráfego, relativamente às vias secundárias;
- Em situações em que não é clara a hierarquia viária, atribuir prioridade aos veículos que se apresentam à direita, como é regra geral no nosso país.

3.3.3.2. Infraestrutura viária (arcos)

No que diz respeito à infraestrutura de suporte da rede viária, foram também necessários realizar alguns ajustes para aproximar o modelo o mais possível da realidade.

Em primeiro lugar foram ajustadas as vias de saída da Rotunda Orlando Ribeiro, uma vez que a rotunda estava ligada às saídas por apenas um arco e os ramos de saída são compostos por 2 vias. Foi também criada uma via adicional na entrada que liga a Rua Acácio Lino à rotunda, passando assim a haver uma ligação da rua com as vias do meio e exterior da rotunda como é possível observar na figura 3.7. Desta forma, apesar de se aumentar as áreas de conflito, aproximou-se o modelo da situação real.

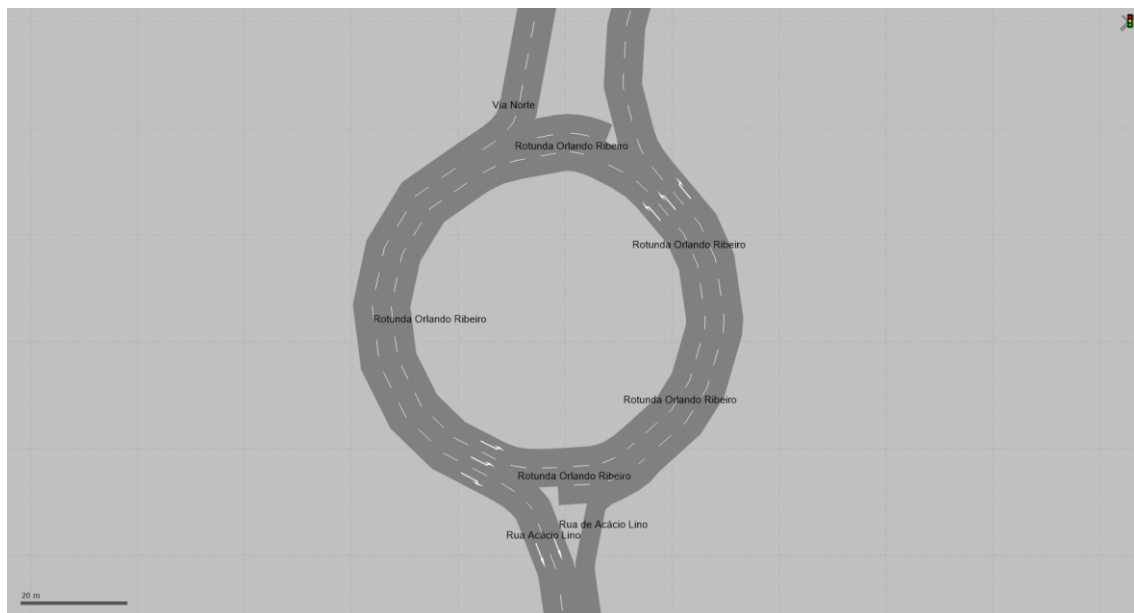


Figura 3.7 - Rotunda Orlando Ribeiro depois de modelada

De seguida, foram corrigidos alguns casos onde existe a passagem de 1 via de tráfego para 2. Depois da rede ser importada, esta passagem acontece através de um único conector de arcos que liga a 1ª via apenas a 1 das 2 vias que se seguem (via à direita). Desta forma, numa situação destas, se o veículo pretender circular na via à esquerda, este entrará primeiro na via à direita e só depois passará para a via pretendida. Deste modo, numa ocasião em que a via à direita está congestionada e o veículo imediatamente a seguir pretende circular na via à esquerda, o congestionamento irá ser agravado. Apesar de o traçado da 1ª via seguir para a via mais à direita, o que acontece numa

situação real é que um veículo que pretenda circular à esquerda vai entrar diretamente nesse troço como ilustrado na figura 3.8.



Figura 3.8 - Exemplo da "passagem" de 1 via para 2 vias

3.3.3.3. Main Node

Um *Main Node* é um nó complexo que contém muita informação. Na rede em estudo existe apenas um *Main Node* e diz respeito ao cruzamento indicado na figura 3.9. É um cruzamento tradicionalmente complexo e que será mais à frente descrito e. Após a importação da rede, foi necessário tratar este nó complexo, tal como se pode observar pela figura, em que a imagem A representa o nó em *VISUM*, a imagem B o nó depois da importação para *VISSIM* e, a imagem C, o nó “tratado” com toda a informação e respetivos elementos viários (semáforos, detetores e movimentos).

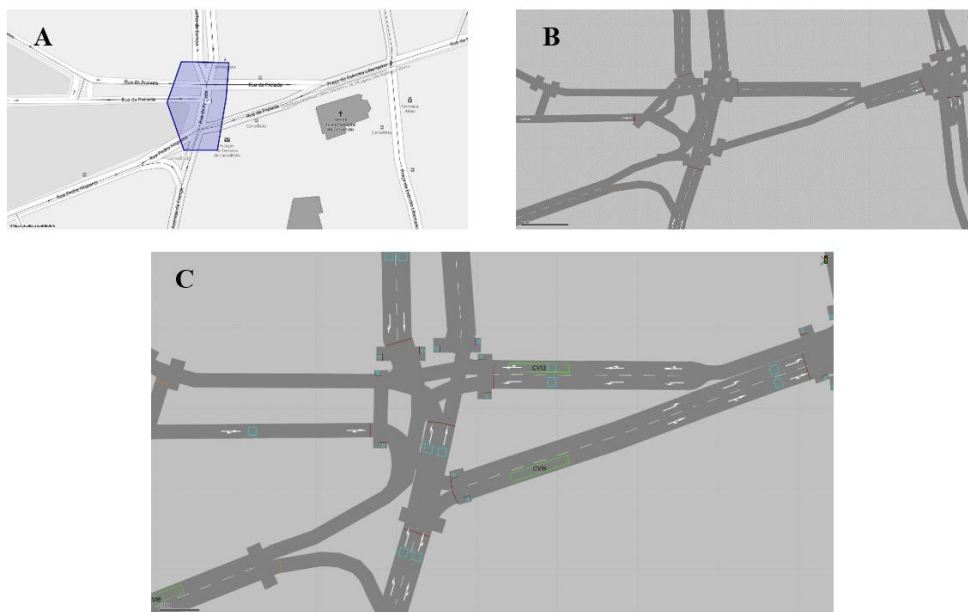


Figura 3.9 - Tratamento do nó

3.3.4. LINHAS E PARAGENS DE TP

Os TP têm uma grande influencia na mobilidade de uma cidade, uma vez que são veículos pesados que circulam a uma velocidade, em média, inferior quando comparados aos transportes individuais. É, portanto, imprescindível considera-los neste estudo de microsimulação.

A zona de estudo desta dissertação é servida por um vasto serviço de transporte público. A tabela 3.2 apresenta as carreiras presentes na rede alvo de estudo, o seu sentido e a sua primeira paragem (1º STOP, paragem representada pelo seu código) depois do momento em que entram na rede em estudo.

Quadro 3.2 - Linhas existentes na rede, sentido e 1ª paragem das mesmas

Linha	Sentido	1º STOP
204	HOSPITAL SÃO JOÃO - FOZ	BVLH1
204	FOZ – HOSPITAL SÃO JOÃO	CVI4
206	CAMPANHÃ – VISO	BVLH1
206	VISO – CAMPANHÃ	CVI5
209	PASTELEIRA – PRELADA	CVI4
209	PRELADA – PASTELEIRA	CVI6*
300	CIRCULAR: HOSP.SJ - ALIADOS	CVI1
301	CIRCULAR: HOSPITAL SÃO JOÃO - SÁ DA BANDEIRA	CI22
508	BOAVISTA - CABO DO MUNDO	CVI1
508	CABO DO MUNDO - BOAVISTA	CI22
602	CORDOARIA - AEROPORTO	CVI1
602	AEROPORTO - CORDOARIA	CI22
704	BOAVISTA - CODICEIRA	CVI4
704	CODICEIRA - BOAVISTA	BVLH2
803	BOAVISTA - RIO TINTO	CVI4
803	RIO TINTO - BOAVISTA	BVLH1

Numa primeira fase, realizou-se o levantamento das paragens existentes na rede tal como estão representadas na figura 3.10.

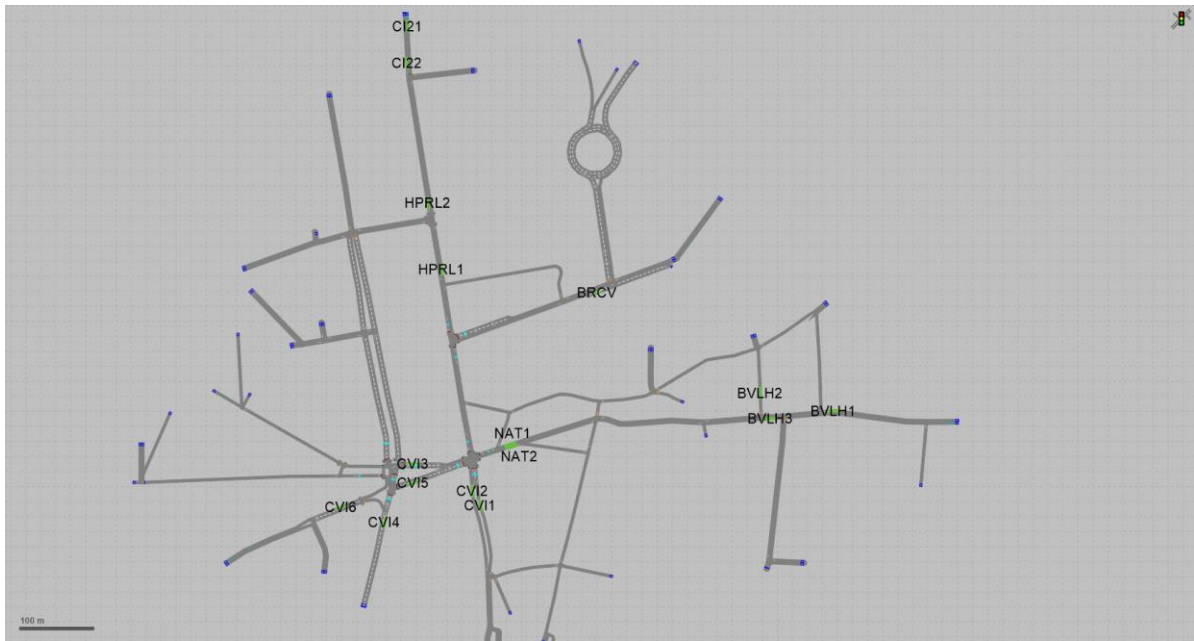


Figura 3.10 - Paragens existentes na rede em estudo

De seguida, foram manualmente criadas na rede as rotas de todos os veículos de TP. As rotas dos veículos de TP apresentam uma distribuição estática (*static route*) na rede, pelo que os TP irão sempre percorrer as rotas pré-definidas manualmente. Como é de conhecimento geral, os autocarros percorrem sempre o mesmo caminho independentemente do estado do tráfego (congestionamento). Na figura 3.11 é possível ver um exemplo de uma rota criada, neste caso, a rota da carreira 704 no sentido Boavista – Codiceira.



Figura 3.11 - Exemplo de uma rota de autocarros (linha 704)

Depois de criadas as paragens e as rotas dos TP, foi necessário especificar os momentos exatos em que os autocarros entram na rede. Para tal foi necessário recolher os dados referentes aos horários dos TP e que estão disponíveis na página da internet da Sociedade de Transportes

Coletivos do Porto (STCP), dados esses que estão disponíveis em anexo. Foram recolhidos os horários entre as 17h15 e as 18h30 (período de simulação).

Para facilitar a inclusão dos TP na rede, assumiu-se que estes entram na rede no segundo que deveriam chegar à 1ª paragem (1º STOP), visto que as primeiras paragens são relativamente perto do início das rotas dos TP, à exceção da paragem CVI6* referente à carreira 209, sentido Prelada – Pasteleira que se situa um pouco mais longe. Assim, desta forma, os TP chegarão à 1ª paragem pouco tempo depois do horário tabelado. Este atraso pode ainda ser agravado pelo tráfego existente no momento em que o autocarro entra na rede. No entanto, o atraso não é relevante, uma vez que, para o caso de estudo, o fator preponderante para a avaliação dos cenários é a frequência com que os TP entram na rede.

Na figura 3.12, observa-se um exemplo da introdução dos segundos que correspondem ao momento de entrada na rede da rota 704: Boavista – Codiceira.

Count	Dep	TeleCour	Occup
1	120,0	0	0
2	1440,0	0	0
3	2100,0	0	0
4	2760,0	0	0
5	3420,0	0	0
6	4080,0	0	0

Figura 3.12 - Introdução do momento de entrada na rede de uma determinada linha (neste caso, linha 704 Boavista - Codiceira)

3.3.5.SEMÁFOROS E DETETORES

A rede em estudo tem 3 cruzamentos que são regulados por semáforos: o cruzamento da Rua do Carvalhido com a Rua Sousa Pinto; o cruzamento da Rua do Carvalhido com a Rua da Natária e com a Praça do Exército Libertador; o cruzamento da Rua da Prelada com a Avenida Conselho da Europa. Os semáforos que regulam os dois últimos cruzamentos atrás mencionados funcionam em conjunto, assumindo-se assim como um grande cruzamento pelo que será a partir daqui denominado como o cruzamento N°297. O cruzamento entre a Rua do Carvalhido e a Rua Sousa Pinto será denominado como o cruzamento N°310.

Os semáforos em ambos os cruzamentos são atuados, isto é, possuem ciclos variáveis consoante o tráfego existente ou não na via. Os sensores que funcionam como sistema de deteção de veículos são do tipo espira, sensores de utilização mais comum. O princípio de funcionamento baseia-se na deteção da presença de um veículo por alteração do campo magnético devido à presença de um objeto de metal (Quelhas, 2016). A figura 3.13 representa um exemplo deste tipo de detetores.

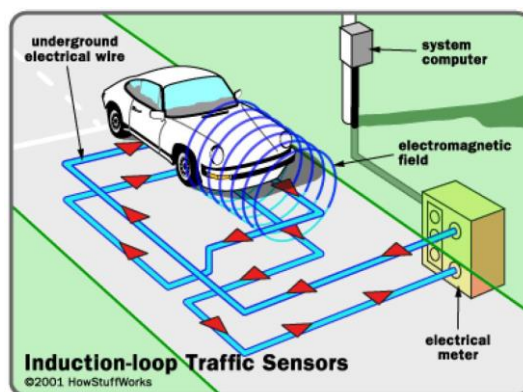


Figura 3.13 - Ilustração do funcionamento do sensor tipo espira

Como tal, foi necessário programar os semáforos para que estes se relacionem com os sensores do tipo espira (a partir daqui chamados detetores) que por sua vez estão relacionados com o tráfego. Para isso recorreu-se a um módulo existente no VISSIM, o *VAP* (*vehicle actuated programming*) onde é possível programar a simulação de semáforos atuados. A programação do semáforo é efetuada em dois ficheiros de texto usando simples linguagem de programação. O *VAP* interpreta a linguagem de programação e cria os comandos no VISSIM.

No 1º ficheiro são atribuídas as fases do semáforo, especificando os movimentos que estão com sinal verde e os movimentos que estão com sinal vermelho em cada fase. Para além disso, são especificadas também os tempos de interverde que pretendem informar o programa que, por exemplo, depois de completada a primeira fase, irá ocorrer a segunda fase. Neste modelo, todos os interverdes de ambas as programações semafóricas têm a duração de 6s (3s de amarelo + 3s de tempo de limpeza). Ainda nos interverdes, são definidos os semáforos que vão ficar verde na próxima fase, assim como os que irão passar a vermelho e ainda os que continuam verde de uma fase para a outra.

No 2º ficheiro são definidas as variáveis que dizem respeito aos tempos máximos e mínimos das fases, assim como as variáveis referentes aos detetores. De seguida é programada a fase inicial do ciclo e, depois, são estabelecidas todas as relações existentes entre os tempos das fases e os detetores.

A programação dos semáforos em *VAP* foi feita com base nas folhas de programação que atualmente estão em vigor na regulação dos mesmos, documentos esses fornecidos pela CMP. Os semáforos instalados nos arruamentos em estudo são fabricados pela empresa Eyssa-Tesis e apresentam dois tipos de comando: PROSEM e CASTOR para os cruzamentos N°310 e N°297, respetivamente. As folhas de programação PROSEM e CASTOR, assim como as folhas de programação em *VAP* de ambos os cruzamentos estão em anexo.

De seguida, será explicada em que consiste a programação semafórica de cada um dos cruzamentos.

3.3.5.1. Cruzamento N°310

Na figura 3.14, onde está ilustrado o cruzamento N°310, estão representados a azul os movimentos possíveis e, a laranja, os detetores existentes.

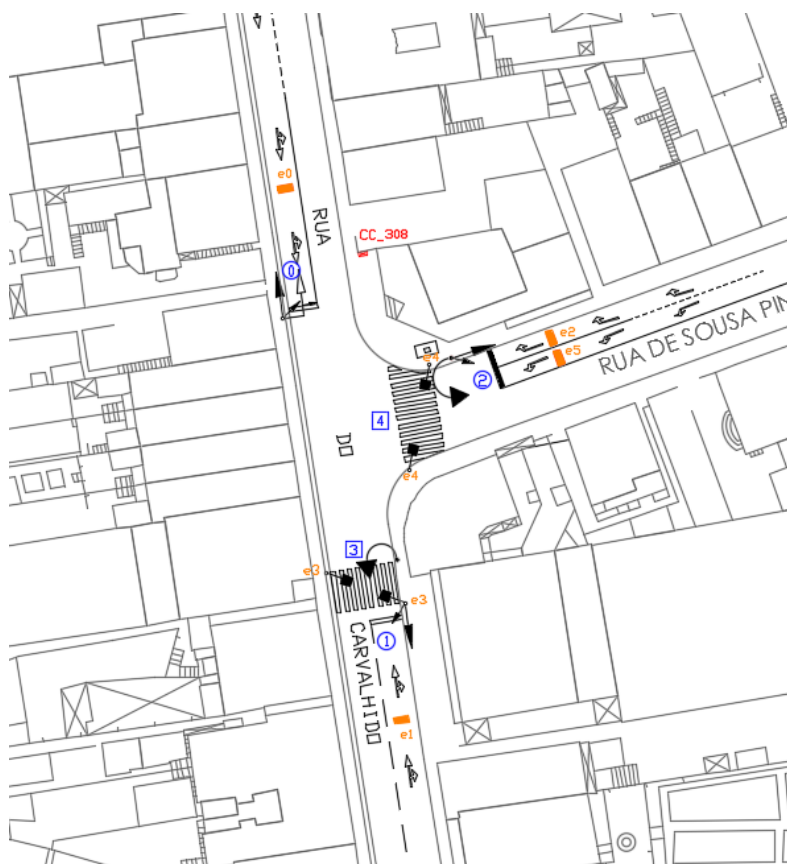


Figura 3.14 - Cruzamento Nº310

O ciclo deste cruzamento engloba 3 fases que têm associadas a si tempos máximos (TMáx) e tempos mínimos (TMin) de verde. Esta informação está disposta na tabela 3.3, assim como os movimentos possíveis associados a cada fase, que estão assinalados com um “V” (Verde).

Quadro 3.3 - Fases, tempos e movimentos do cruzamento Nº310

	TMáx	TMin	Movimentos				
			0	1	2	3	4
Fase 1	54	34	V	V			
Fase 2	18	18				V	V
Fase 3	43	15			V		

Como foi referido anteriormente, estes semáforos são atuados pelo que a sequência das fases está relacionada com os pedidos em cada detetor. O tempo mínimo de verde de cada fase é sempre respeitado, no entanto, o tempo máximo pode ser variável. Isto acontece quando, na fase a seguir, existe pedido. A folha de programação PROSEM apresenta uma configuração que define que, não havendo pedido na fase posterior e, já se tendo dado o TMin da fase atual, o sinal verde irá sofrer incrementos sucessivos de 4s até ao TMax. Havendo sempre pedido em todos os detetores, a

sequência das fases dos semáforo seria: Fase 1 – Fase 2 – Fase 3. Contudo, se, por exemplo, no decurso da Fase 1, não existir pedidos para a Fase 2, a sequência anterior é alterada passando-se assim da Fase 1 para a Fase 3.

No presente estudo, os peões não são considerados e, por isso, o ciclo destes semáforos será apenas constituído pelas fases 1 e 3. Sendo a Rua do Carvalhido definida como rua principal, a Fase 1 é programada de forma a que se atribua o TM_{\max} sempre que existir fluxo contínuo nesta via, independentemente do facto de haver pedido na Fase 3. Por outro lado, estando a Fase 3 ativa e, já tendo sido cumprido o seu $TMin$, se os detetores da Fase 1 detetarem veículos, então dá-se o salto de sequência para a fase principal.

3.3.5.2. Cruzamento N°297

A programação semafórica do cruzamento N°297 engloba 16 movimentos, distribuídos por 5 fases o que torna esta programação bastante complexa. A figura , os movimentos estão representados a azul e os detetores a laranja.

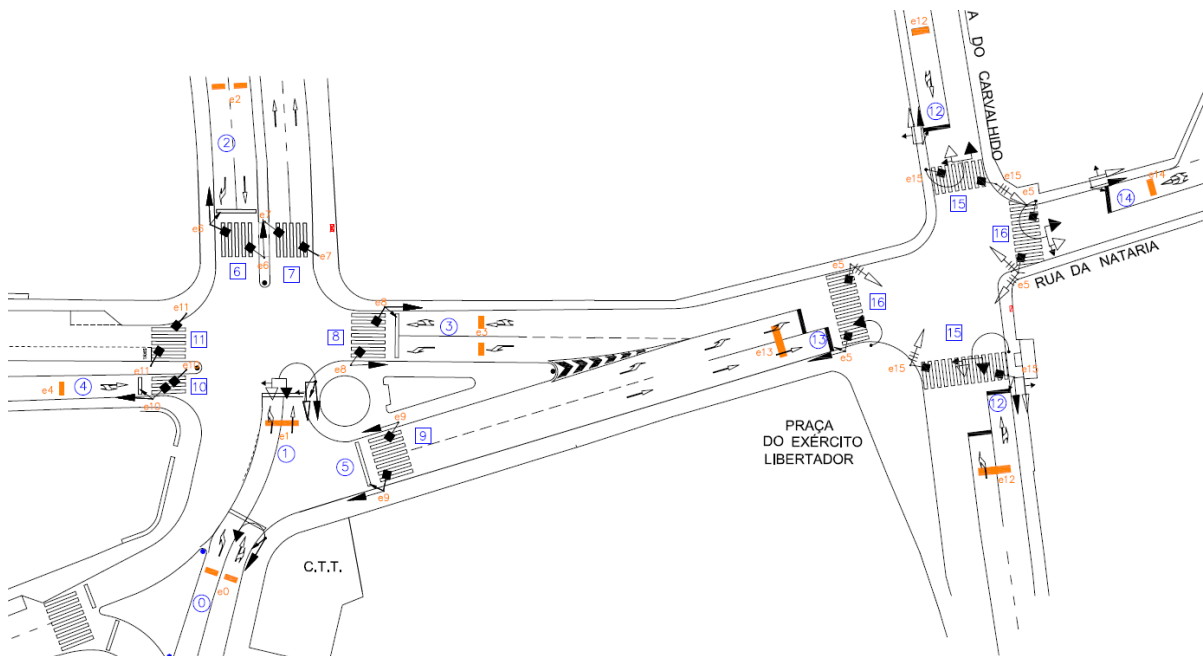


Figura 3.15 - Cruzamento N°297

Na tabela 3.4, é possível ver a distribuição dos movimentos pelas 5 fases e, associadas a estas, os tempos máximo e mínimo de verde (TM_{\max} e $TMin$).

Quadro 3.4 - Fases, tempos e movimentos do cruzamento N°297

	TMáx	TMin	Movimentos																
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Fase 1	55	12	V			V		V	V				V		V				V
Fase 2	45	12	V			V			V			V	V				V	V	
Fase 3	5	5	V			V		V	V				V						
Fase 4	45	12	V	V	V			V			V		V			V			
Fase 5	22	12					V	V	V	V	V			V	V				V

Ao contrário do cruzamento anterior, grande parte dos movimentos acontecem em mais do que uma fase, consecutiva ou não. Isto eleva a complexidade da programação semafórica deste cruzamento. A programação em VAP deste cruzamento foi realizada na folha de programação PROSEM e é semelhante à programação do cruzamento N°310. No entanto, neste cruzamento, os incrementos de verde são de 3s e não existe um movimento considerado principal. As fases têm todas um tempo mínimo de verde de 12s, à exceção da Fase 3 que tem a duração de 5 s. As fases também se prolongam até ao seu TMáx pelos tais incrementos de 3s, que se dão por ação dos detetores. Enquanto que no cruzamento N°310 os detetores responsáveis pelos incrementos de verde são os que dizem respeito aos movimentos da própria fase, no cruzamento N°297, uma vez que um mesmo movimento se dá em mais do que uma fase, cada fase tem associada a si determinados detetores (tabela 3.5).

Quadro 3.5 - Fases e respetivos detetores associados

Fases	Detetores
Fase 1	e3; e12
Fase 2	e14
Fase 3	/
Fase 4	e1; e2; e13
Fase 5	e4

Na folha de programação PROSEM existem mais detetores relacionados com as fases, mas dizem respeito a movimentos de peões. Apesar dos semáforos que controlam os movimentos dos peões terem sido introduzidos no modelo, assim como os detetores correspondentes aos seus movimentos, estes não terão qualquer efeito prático uma vez que, como foi referido anteriormente, a circulação de peões não foi alvo de estudo nesta dissertação devido à falta de dados de peões.

A fase da calibração do modelo deu-se por terminada no momento em que, por mais que as variáveis do sistema fossem alteradas e/ou reajustadas, os efeitos produzidos no modelo eram praticamente nulos. Desta forma e, assumindo assim que a etapa da calibração foi concluída, procedeu-se à validação do modelo.

3.4. VALIDAÇÃO DO MODELO (CENÁRIO BASE)

Terminada a calibração do modelo e, seguindo a ordem das fases que constituem o desenvolvimento do mesmo, o passo seguinte é a validação. A validação de um modelo consiste no processo de verificação das estimativas do modelo calibrado com o objetivo de aferir as suas capacidades de previsão, em situações distintas das utilizadas na fase da calibração, garantindo assim que as conclusões obtidas pelo modelo são aplicáveis ao sistema em estudo (HMSO, 1991).

Por norma, as fases da calibração e validação de um modelo concentram-se nos resultados finais do modelo tais como volumes de tráfego, velocidades e filas de espera, sendo que a primeira variável assume uma grande importância (Pereira e Tavares, 2015). Desta forma, foi com base nos volumes de tráfego modelados que se efetuou a validação do modelo. Validação essa que consistiu na comparação dos volumes simulados com os volumes observados (contagens) através do índice *GEH*. Os volumes observados têm como base contagens que foram realizadas em março de 2018 pela empresa Engimind. São, portanto, dados independentes daqueles que foram introduzidos inicialmente no modelo (dados utilizados para a calibração do modelo).

Foram efetuadas 15 iterações/simulações do modelo para o Cenário Base. Para efetuar a comparação dos volumes foram escolhidos 14 troços na rede situados nas ruas Acácio Lino, Sousa Pinto, Carvalhido, Praça do Exército Libertador e Rua da Natária.

Quadro 3.6 - Troços alvo de estudo para cálculo do índice *GEH*

Número do troço em estudo	Rua
1	Rua de Acácio Lino
2	Rua de Acácio Lino
3	Rua de Sousa Pinto
4	Rua de Sousa Pinto
5	Rua de Sousa Pinto
6	Rua de Sousa Pinto
7	Rua do Carvalhido
8	Rua do Carvalhido
9	Rua do Carvalhido
10	Rua do Carvalhido
11	Praça do Exército Libertador
12	Praça do Exército Libertador
13	Rua da Natária
14	Rua da Natária

Para melhor compreensão da localização exata dos troços, uma vez que existe em alguns casos mais do que 1 troço na mesma rua, a figura 3.16 mostra a localização dos mesmos.



Figura 3.16 - Identificação dos troços alvo de estudo

Antes de se efetuar a validação do modelo propriamente dita através da comparação dos volumes simulados com os volumes observados em contagens independentes dos introduzidos no sistema, foi efetuada uma “validação inicial” onde foram comparados os volumes simulados no modelo de tráfego *VISSIM* com os valores simulados em *VISUM*.

3.4.1. “VALIDAÇÃO INICIAL” *VISSIM/VISUM*

Como foi referido no início do capítulo, a rede que foi trabalhada no simulador de tráfego *VISSIM*, é uma sub-rede gerada a partir de uma rede pré-existente da cidade do Porto, rede essa que estava modelada em *VISUM*. Depois de se ter gerado a sub-rede em *VISUM* procedeu-se à afetação da mesma ainda nesse programa. A figura 3.17, mostra a afetação em toda a sub-rede:

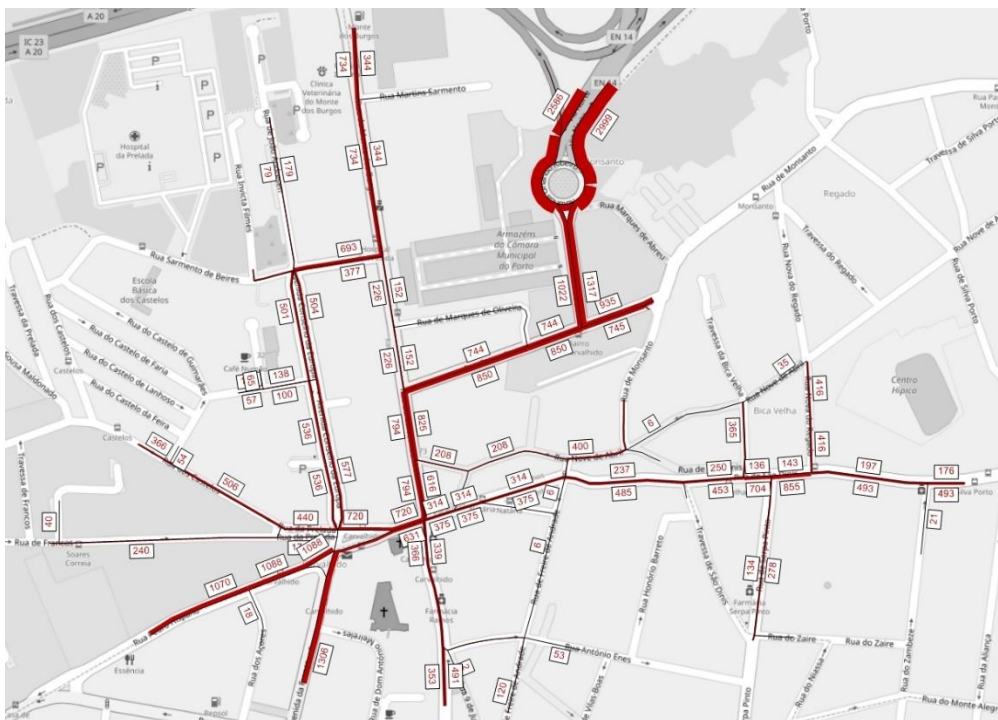


Figura 3.17 - Afetação do tráfego em VISUM

Teoricamente, estes valores deveriam ser muito idênticos, no entanto, não foi isso que se verificou na maior parte dos troços como é possível de observar na tabela 3.7. Esta tabela relaciona então os volumes de tráfego simulados em VISUM com os volumes de tráfego simulados em VISSIM nos troços indicados atrás.

Quadro 3.7 - Comparação dos dados simulados em VISSIM com os dados simulados em VISUM

Número do troço	Rua (link)	Volumes de tráfego				
		VISSIM (veic/h)	VISUM (veic/h)	Diferença	%	GEH
1	Rua de Acácio Lino	227,82	1022	-794	-78%	31,8
2	Rua de Acácio Lino	891,2	1317	-426	-32%	12,8
3	Rua Sousa Pinto	678,91	935	-256	-27%	9,0
4	Rua Sousa Pinto	310,42	745	-435	-58%	18,9
5	Rua Sousa Pinto	144,45	744	-600	-81%	28,4
6	Rua Sousa Pinto	421,44	850	-429	-50%	17,0
7	Rua do Carvalhido	192,49	152	40	27%	3,1
8	Rua do Carvalhido	340,27	226	114	51%	6,8
9	Rua do Carvalhido	527,71	825	-297	-36%	11,4
10	Rua do Carvalhido	445,1	794	-349	-44%	14,0
11	Praça do Exército Libertador	361,02	339	22	6%	1,2
12	Praça do Exército Libertador	303,95	366	-62	-17%	3,4
13	Rua da Natária	216,57	314	-97	-31%	6,0
14	Rua da Natária	201,77	375	-173	-46%	10,2

São algumas as razões que podem justificar a disparidade dos volumes simulados em VISUM e os volumes simulados em VISSIM.

Como foi referido no início do capítulo, a rede que foi alvo de estudo foi obtida através de uma rede de maior dimensão (rede da cidade do Porto) à qual tinha associada a si uma matriz O/D. A partir do momento em que foi efetuado este “corte”, foi gerada uma matriz “parcial” que dizia respeito à sub-rede. Deste ajuste à matriz original, pode acontecer que a nova matriz não corresponda 100% à realidade. Acrescido a isso, a afetação no modelo de simulação de tráfego *VISUM* é efetuado por equilíbrio, mas não tem em consideração o atraso nos nós. Para além disso, o *VISUM* é um modelo de simulação macroscópico o que significa que o seu nível de detalhe é bastante inferior ao *VISSIM*. Desta forma, os valores dos volumes de tráfego no *VISUM* são, geralmente, maiores do que o suposto.

Por outro lado, apesar do simulador *VISSIM* ser um modelo de tráfego microscópico, a dimensão da rede não é muito grande. Desta forma, acontece que em alguns pares O-D (pares Origem-Destino) não possuam uma grande variedade de caminhos alternativos. Poderá até existir casos em que o número de caminhos existentes para satisfazer um determinado par O-D seja apenas 1. Assim, apesar de nesta dissertação a simulação do modelo estar a ser realizada com base numa distribuição dinâmica (*dynamic assignment*), assumindo aleatoriedade no processo de tomada de decisão do condutor, a dimensão da rede pode condicionar a afetação.

Por fim, este caso de estudo, como qualquer trabalho em modelação de tráfego, terá associado a si eventuais erros, tanto na fase da verificação como, e principalmente, na fase de calibração do modelo. A fase da calibração de um modelo de tráfego é crucial no desenvolvimento do mesmo, pelo que por vezes um pequeno erro pode ter grandes implicações a jusante.

Existe, contudo, um fator que ainda não foi referido e que diz respeito à quantidade de veículos que entra no sistema. Se se considerar a matriz O/D como base para a afetação dos veículos na rede, durante o período de simulação do modelo (1h) deveriam de circular cerca de 8100 veículos. No entanto, a média de veículos que chega efetivamente a entrar na rede é cerca de metade, tal como é possível observar na figura 3.18. De notar que o número de veículos que entram na rede resulta da soma dos veículos que entraram e saíram da rede (ou seja, os veículos que conseguiram chegar ao destino pretendido) com os veículos que estavam na rede no momento em que a simulação termina.

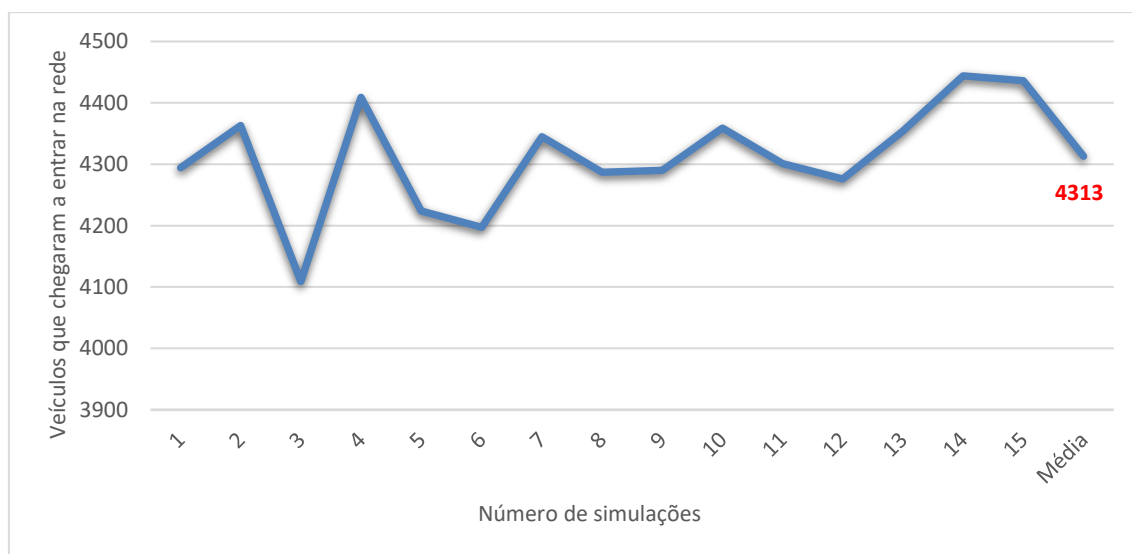


Figura 3.18 - Veículos que chegaram a entrar na rede

Da mesma forma que foi possível obter os dados referentes aos veículos que entraram na rede, também foi possível quantificar-se o número de veículos que, por simulação, não entraram no sistema (figura 3.19). Como é possível observar-se na figura 3.19, a mediado número de veículos que não entraram na rede é de 2590 no conjunto das 15 iterações.

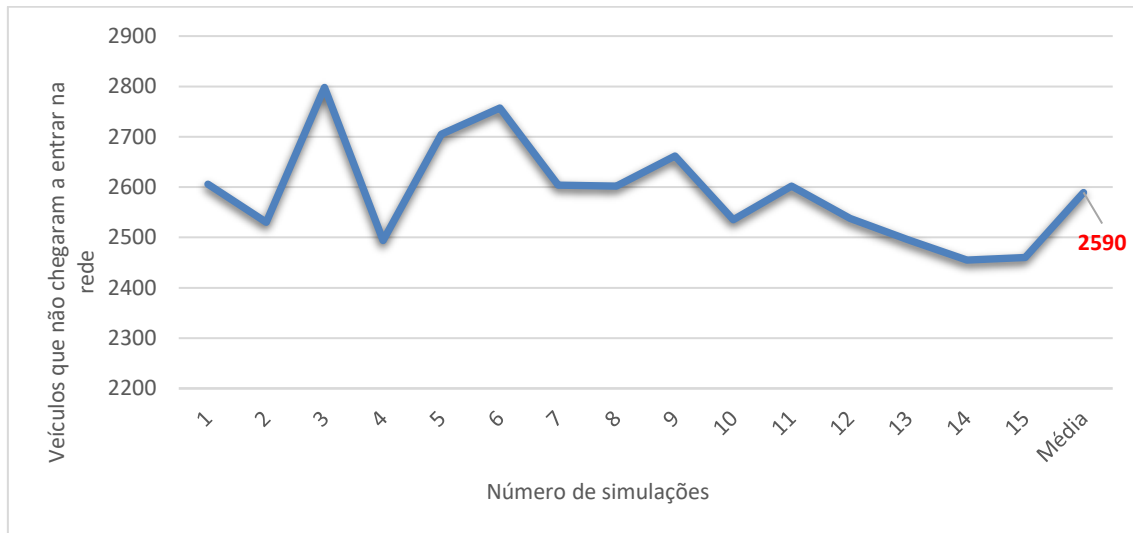


Figura 3.19 - Veículos que não chegaram a entrar na rede

Se se considerar o somatório das médias do número de veículos que entraram na rede com o número de veículos que não entraram na rede, o resultado obtido é de cerca de 6900 veículos. Contudo, teoricamente este número deveria ser próximo de 8100, de acordo com o referido anteriormente. Esta diferença na afetação dos veículos reforça as razões antes mencionadas e podendo também justificar as diferenças entre os volumes de tráfego modelados em *VISUM* e os volumes de tráfego modelados em *VISSIM*.

3.4.2.VALIDAÇÃO

Após a anterior “validação inicial”, assume-se como válidos os valores dos volumes de tráfego simulados em *VISSIM* de forma a se prosseguir com a validação do modelo. Como já atrás se referiu, os volumes de tráfego simulados vão ser comparados com os volumes de tráfego observados que têm como base contagens efetuadas na zona, nos diferentes troços em estudo. Essa comparação está presente na tabela 3.8, onde é também possível observar o índice *GEH* dos respetivos troços.

Quadro 3.8 - Comparação dos volumes simulados com os volumes baseados nas contagens

Número do troço	Rua (<i>link</i>)	Volumes de tráfego				
		Modelado (veic/h)	Contagens (veic/h)	Diferença	%	GEH
1	Rua de Acácio Lino	227,82	1104	-876	-79%	34,0
2	Rua de Acácio Lino	891,2	1099	-208	-19%	6,6
3	Rua Sousa Pinto	678,91	707	-28	-4%	1,1
4	Rua Sousa Pinto	310,42	523	-213	-41%	10,4
5	Rua Sousa Pinto	144,45	858	-714	-83%	31,9
6	Rua Sousa Pinto	421,44	669	-248	-37%	10,6
7	Rua do Carvalhido	192,49	653	-461	-71%	22,4
8	Rua do Carvalhido	340,27	305	35	12%	2,0
9	Rua do Carvalhido	527,71	600	-72	-12%	3,0
10	Rua do Carvalhido	445,1	441	4	1%	0,2
11	Praça do Exército Libertador	361,02	416	-55	-13%	2,8
12	Praça do Exército Libertador	303,95	451	-147	-33%	7,6
13	Rua da Natária	216,57	340	-123	-36%	7,4
14	Rua da Natária	201,77	238	-36	-15%	2,4

Curiosamente, a comparação dos volumes simulados com os volumes observados mostra uma menor disparidade de valores em relação à comparação realizada no subcapítulo anterior. Os valores obtidos para o índice *GEH* indicam que o modelo de forma geral se aproxima da realidade existindo, no entanto, alguns valores preocupantes como é o caso dos referentes aos troços 1, 4, 5, 6 e 7.

Os troços 1, 4, 5 e 6 têm um ponto em comum: cruzamento das ruas Sousa Pinto e Acácio Lino. Trata-se de um cruzamento tradicionalmente complicado uma vez que tem uma elevada procura e onde existem 6 movimentos possíveis. Este cruzamento não é semaforizado o que, em conjunto com a procura e os movimentos possíveis no mesmo, resulta em grandes congestionamentos. No entanto, para melhor compreensão do funcionamento deste semáforo é interessante estudá-lo por partes.

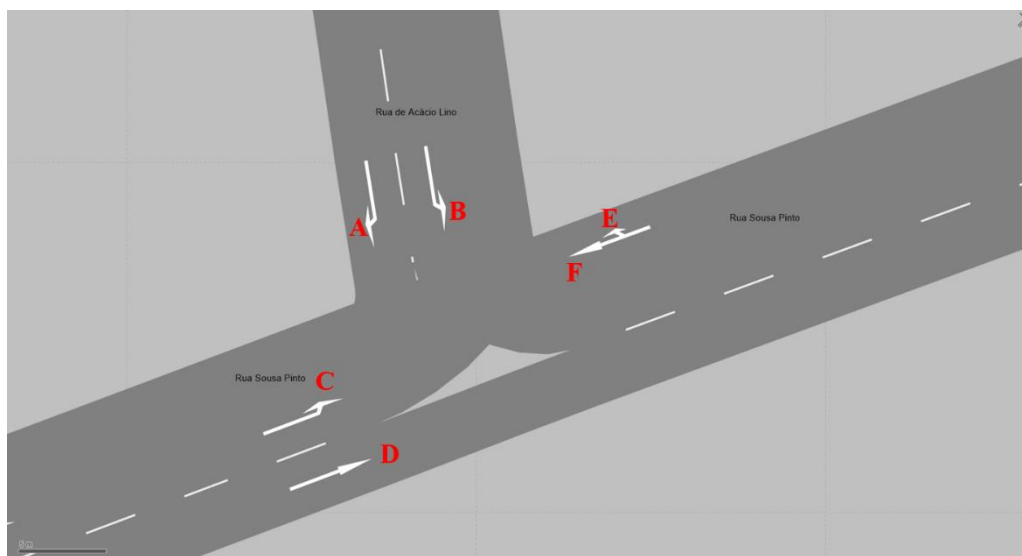


Figura 3.20 - Movimentos possíveis no cruzamento

A tabela 3.8 diz-nos que existem cerca de 680 veíc/h a percorrer o troço 3. Com base na matriz O/D, é possível observar que praticamente a totalidade dos veículos que vem da rua Sousa Pinto (início do troço 3) tem como destino a N14 (Nacional 14: Via de Cintura Interna ou Via Norte), através da Rua Acácio Lino (movimento E). A maior parte dos veículos que circulam no troço 6 pretendem igualmente virar para a Rua de Acácio Lino (movimento C) o que, desta forma, gera filas de espera pois os veículos que executam este movimento não têm prioridade sobre os veículos provenientes do troço 3. Apesar de na aproximação ao cruzamento pelo troço 6, o movimento D está segregado do movimento C, o número de veículos que pretendem efetuar a viragem à esquerda (movimento C) é bastante superior, bloqueando a circulação do movimento D. Este facto permite entender o baixo volume de tráfego nos troços 6 e 4.

Relativamente ao troço 1, os baixos volumes registados na simulação do modelo estão relacionados com as razões anteriormente referidas. O troço 1 é composto por duas vias que, nas imediações do cruzamento permitem movimentos diferentes (movimentos A e B). Como já foi referido, o movimento F apresenta pouco volume de tráfego, ao contrário do movimento C. Ou seja, no período em que não haja procura no troço 3, o movimento C avança na hierarquia dos movimentos. Assim, o movimento B apenas poderá acontecer quando não estiverem a existir os movimentos F e C. No que diz respeito ao movimento A, este acontece quase sem oposição. No entanto, o troço 5 apresenta volumes bastante baixos e longes do esperado atendendo à elevada da procura. Este facto pode ser eventualmente explicado pelo cruzamento das ruas Sousa Pinto e Carvalhido. Este cruzamento é semaforizado e atuado, e o seu ciclo é repartido em 3 fases (uma das fases é de peões e não chega a acontecer) como foi referido anteriormente. Porém, a fase prioritária corresponde ao movimento provenientes da rua do Carvalhido, levando a que a fase que permite a passagem dos veículos provenientes do troço 5 tenha um tempo muito reduzido. O troço 5 é extenso, mas a procura (veículos provenientes da Rua Acácio Lino) é bastante elevada, gerando assim filas bastante longas que em vários momentos ocupa o troço entre os dois cruzamentos.

É importante referir que, apesar de este ser um modelo microscópico, existem detalhes que não são possíveis de prever ou programar. Por exemplo, se imaginarmos um cruzamento num caso real, um veículo que não tenha prioridade acaba sempre por poder, em algum momento, efetuar o seu movimento quando o condutor que circula na via prioritária o permite fazer.

Por fim, o troço 7 apresenta um índice *GEH* não desejável, mas por razões distintas das anteriormente referidas. Se observarmos a tabela 3.7, é possível notar que os volumes simulados em *VISSIM* são muito próximos aos simulados em *VISUM*. Como a afetação no *VISSIM* tem como base a afetação em *VISUM* o volume de tráfego existente nesse troço nunca seria muito diferente do original.

Concluindo, e tendo em conta os índices *GEH* bem como a análise anterior, considera-se que estes valores são aceitáveis para o desenvolvimento do presente estudo. O próximo passo será a elaboração dos cenários e a discussão dos seus resultados.

3.5. INDICADORES DE DESEMPENHO

Uma vez calibrado e validado o modelo, é altura de estudar o comportamento do cenário Base, que servirá de suporte para analisar e comparar o desempenho dos cenários. O estudo do desempenho de um modelo de tráfego faz-se através da análise dos indicadores de desempenho.

Na presente dissertação optou-se por fazer uma análise de indicadores de desempenho gerais da rede e, numa segunda fase, um estudo focado em algumas interseções. Os indicadores de desempenho (gerais) escolhidos para avaliar o modelo foram:

- Atraso médio por veículo: atraso, em segundos, que é calculado através do quociente entre o atraso total e o número de veículos (número de veículos na rede + número de veículos que já concluíram o seu percurso e já saíram da rede);
- Número médio de paragens: quociente entre o número total de paragens e o número de veículos (número de veículos na rede + número de veículos que já concluíram o seu percurso e já saíram da rede);
- Velocidade média: velocidade média dos veículos, em km/h, que é dada pelo quociente entre a distância total percorrida sobre o tempo total de percurso;
- Tempo total parado por veículo: este indicador é dado em segundos e resulta do quociente do tempo total em que os veículos estiveram parados (velocidade nula) sobre o número total de veículos (número de veículos na rede + número de veículos que já concluíram o seu percurso e já saíram da rede);
- Distância percorrida total: distância total percorrida por todos os veículos presentes na rede e pelos que já concluíram o seu percurso;
- Tempo total de percurso: tempo total de percurso dos veículos presentes na rede e dos veículos que já saíram da rede;
- Atraso total da rede: atraso total de todos os veículos presentes na rede ou daqueles que já concluíram o seu percurso. Este atraso é calculado através do quociente entre a distância real percorrida num intervalo de tempo e a velocidade desejada na duração desse intervalo de tempo. Este atraso inclui, por exemplo, paragens nos sinais de STOP;
- Veículos ativos: número de veículos que estão na rede no momento do fim da simulação;
- Veículos que já finalizaram o seu percurso: número de veículos que já chegaram ao seu destino e, portanto, já saíram da rede;
- Veículos em falta: número de veículos que não chegaram a entrar na rede, no decorrer do tempo de simulação.

Ao nível das interseções, os indicadores de desempenho que irão ser alvo de estudo serão:

- Comprimento médio da fila: em cada intervalo de tempo, o comprimento da fila atual é medido e a média aritmética é calculada por intervalo de tempo;
- Comprimento máximo da fila: em cada intervalo de tempo, o comprimento atual da fila é medido pelo contador de fila e o máximo é assim calculado por intervalo de tempo;
- Volume de tráfego: número de veículos por hora que passaram na interseção;
- Nível de serviço: 6 níveis de serviço designados pelas letras de A a F onde o nível de serviço A corresponde ao regime de escoamento livre com condições de circulação muito boas e o nível de serviço F corresponde a situações de congestionamento. Classificação feita pelo simulador de tráfego VISSIM, baseada no HCM 2010 (*High Capacity Manual*). A classificação do nível de serviço de uma interseção baseia-se no tempo de percurso perdido:

Quadro 3.9 - Níveis de serviço de acordo com o tempo de percurso perdido

Nível de Serviço	Tempo de percurso perdido	
	Interseções semaforizadas	Interseções não semaforizadas
A	< 10s ou volume de tráfego nulo	
B	> 10s a 20s	> 10s a 15s
C	> 20s a 35s	> 15s a 25s
D	> 35s a 55s	> 25s a 35s
E	> 55s a 80s	> 35s a 50s
F	> 80s	> 50s

- Atraso total: O atraso total de uma interseção é dado pela diferença entre o tempo teórico de percurso sobre o tempo real. O tempo teórico (ideal) de percurso é o tempo que poderia ser atingido se não houvesse impedimentos nenhuns na circulação, nomeadamente outros veículos, semáforos ou paragens;
- Paragens por veículo: número médio de paragens por veículo;
- Emissões de CO (Dióxido de Carbono): quantidade em gramas de dióxido de carbono durante o tempo de simulação;
- Emissões NOx (Óxidos de Nitrogénio): quantidade em gramas de óxidos de nitrogénio durante o tempo de simulação;
- Emissões VOC (Compostos Voláteis Orgânicos): quantidade em gramas de compostos voláteis orgânicos durante o tempo de simulação.

A rede modelada possui algumas interseções, mas, optou-se por estudar apenas algumas, nomeadamente:

1. Cruzamento da Rua da Prelada/ Rua Pedro Hispano/ Avenida de França/ Avenida Conselho da Europa;
2. Cruzamento da Rua do Carvalhido com a Rua Sousa Pinto;
3. Cruzamento da Rua Sarmento Beires com a Rua de Montes Burgos;
4. Cruzamento da Rua Acácio Lino com a Rua Sousa Pinto.

Os cruzamentos estão identificados com o número respetivo na figura 3.21.

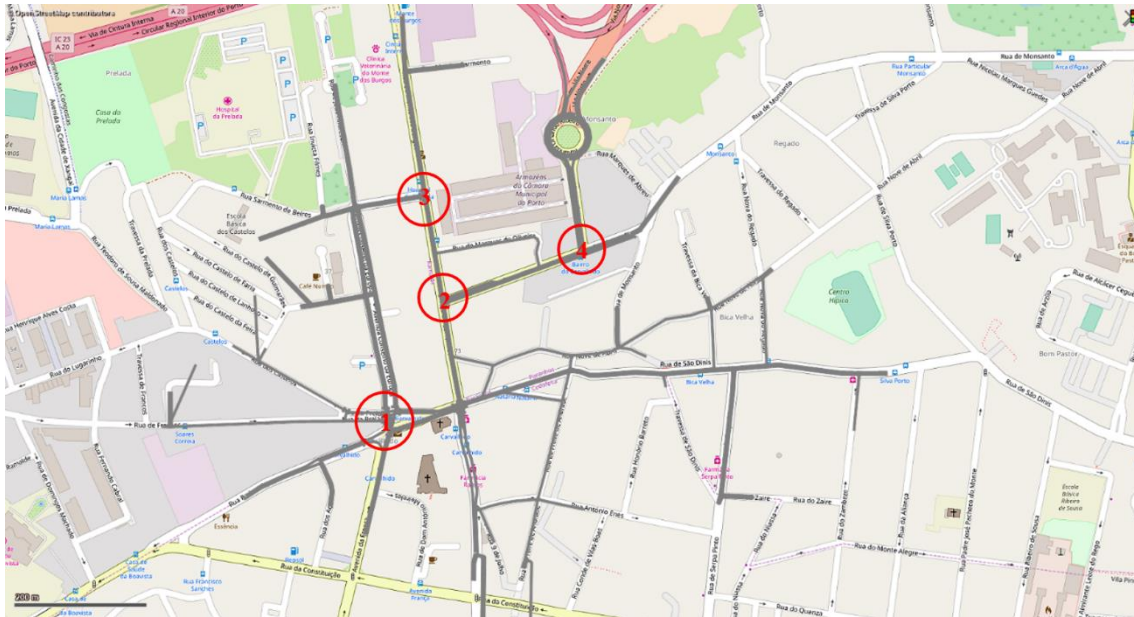


Figura 3.21 – Identificação dos cruzamentos escolhidos para o estudo

Finalizando a construção do modelo e, tendo como base os indicadores de desempenho a avaliar, no próximo capítulo será explicado os cenários escolhidos para comparação com o cenário Base. Depois, proceder-se-á à análise e discussão dos resultados.

4

DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão elaborados e discutidos cenários propostos para melhorar as condições de circulação da zona em estudo. Estes cenários foram elaborados em parceria com a Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego da Câmara do Porto e, são cenários que propõem pequenas alterações à zona de estudo, nomeadamente ao nível da programação semafórica nas interseções da rede. A escolha de cenários mais “simples” tem como objetivo a sua rápida implementação uma vez que, como foi referido anteriormente, a zona do Carvalhido é uma das zonas mais problemáticas da cidade. Por outro lado, a rede em estudo não é muito grande. Melhores condições de circulação nesta zona, poderá ter efeitos benéficos na periferia da mesma, isto é, no resto da cidade do Porto.

Nos próximos subcapítulos serão apresentados os 4 cenários propostos e, por fim, serão comparados os resultados dos 4 cenários com o cenário Base. É importante salientar que a escolha dos cenários foi feita *à priori*, isto é, foram escolhidos antes de ter sido estudado o cenário Base, pelo que a criação dos cenários não teve por base os resultados do cenário real.

4.2. CENÁRIO 1

O cenário 1 propõem-se a ativação dos semáforos existentes no cruzamento das ruas De Montes Burgos e Sarmento Beires. Trata-se de um cruzamento que já possui a instalação semafórica, mas que atualmente se encontra desligada. Com a ativação deste grupo de semáforos, pretende-se estudar o comportamento do tráfego, principalmente na rua de Montes Burgos, rua esta que costuma ser alvo de muita procura havendo a criação de filas consideráveis e congestionamentos.

Optou-se por dividir o ciclo desta interseção em 2 fases, onde a primeira permite os movimentos dos veículos provenientes da Rua de Montes Burgos (movimentos A, B, E e F) e uma segunda fase para os movimentos dos veículos provenientes da Rua Sarmento Beires (movimentos C e D). Relativamente às travessias de peões, as travessias 1 são permitidas durante a fase 2 enquanto que a travessia 2 é permitida durante a fase 1. Na figura 4.1, estão ilustrados os movimentos na interseção em causa:



Figura 4.1 - Movimentos existentes no cruzamento entre a Rua de Montes Burgos e a Rua Sarmiento Beires

Optou-se também por não criar uma fase exclusiva para peões. Segundo CCRN (2008), considera-se justificável uma criar uma fase exclusiva para peões se:

- O volume de peões de atravessamento num ramo de entrada do cruzamento exceder 300 peões/h;
- O movimento de viragem dos veículos for superior a 720 veic/h durante o tempo de verde, combinado com um volume de peões superior a 50 peões/h;
- Existir um número significativo de peões com exigências especiais (crianças, idosos, peões de mobilidade reduzida, etc.).

Apesar de neste modelo os peões não serem considerados, não há informações que validem algum destes pontos uma vez que não houve necessidade de criar fase própria. Devido ao facto de o volume de tráfego nesta interseção não ser muito elevado, os tempos das fases e, consequentemente o tempo do ciclo, são fixos. Os ciclos destes semáforos foram calculados através do método de Webster, considerando as fases e os movimentos na tabela 4.1:

Quadro 4.1 - Fases, tempo e movimentos existentes no cruzamento

		Movimentos							
	T (fixo)	A	B	C	D	E	F	1	2
Fase 1	20	V	V			V	V		V
Fase 2	12			V	V			V	

Em suma, este semáforo terá um tempo fixo total de 44s, onde o tempo de transição entre fases é de 6s à semelhança dos semáforos do cenário Bse (3s de amarelo + 3s de limpeza).

4.3.CENÁRIO 2

O cenário 2 consiste na instalação de semáforos na interseção das ruas Acácio Lino e Sousa Pinto. Esta interseção tem elevada procura, nomeadamente no que diz respeito ao movimento E. Este movimento, sendo prioritário, tem impacto direto no movimento C pelo que tradicionalmente se criam aqui filas de espera consideráveis. O movimento B, por sua vez, também é afetado pois não tem prioridade sobre o movimento D quando este ocorre. De realçar que no fim da Rua de Acácio Lino existem sinais de STOP o que tornam os movimentos A e B os movimentos de hierarquia inferior.



Figura 4.2 - Movimentos existentes no cruzamento da Rua Sousa Pinto e da Rua Acácio Lino

De forma a controlar melhor este cruzamento, evitando grandes filas de espera e consequentes congestionamentos, optou-se então por elaborar um cenário onde o cruzamento passa a ser semaforizado. Foram definidas 3 fases para perfazer o ciclo dos semáforos deste cruzamento, onde uma delas é de tempo variável. As fases e os movimentos correspondentes estão representados na tabela 4.2:

Quadro 4.2 - Fases, tempos e movimentos existentes no cruzamento

	Tmin	TMáx	Movimentos						
			A	B	C	D	E	F	1
Fase 1	25	25				V	V	V	V
Fase 2	10	10	V	V					
Fase 3	10	16	V		V	V			

A Fase 3 possui um tempo mínimo de verde real de 10s, podendo estender-se até os 16s. Tal não acontecerá se o sensor que está localizado a 35m do semáforo (representado a azul na figura 4.2) detetar tráfego. A corrente de tráfego constituída pelos movimentos E e F é a que possui mais volume de tráfego por hora, pelo que a Fase 1 é considerada como principal. Com a

implementação deste sensor, se for detetada a presença de veículos e já se tiver dado o tempo mínimo de verde real da Fase 3, passar-se-á automaticamente para a fase principal (Fase 1). Esta medida tem como objetivo reduzir ao máximo o tempo de vermelho do semáforo que permite os movimentos E e F.

4.4.CENÁRIO 3

O cenário 3 consiste na junção dos cenários 1 e 2, isto é, a ativação dos semáforos no cruzamento das ruas Sarmento Beires e Montes Burgos e, a implantação de semáforos no cruzamento das ruas Sousa Pinto e Acácio Lino. Os tempos dos ciclos considerados neste cenário são os mesmo dos considerados nos cenários 1 e 2.

4.5.CENÁRIO CMP

O cenário 4, ao contrário dos últimos 3 cenários, é um cenário onde várias alterações são propostas. Este cenário tem como base um cenário proposto pela CMP, no entanto, com algumas modificações.

A Rua do Carvalhido é um dos principais eixos de acesso ao centro da cidade do Porto. Para além de servir os habitantes de toda a envolvente, funciona como ligação à EN12 – Estrada da Circunvalação e VCI. Tem, por essa razão, uma procura de tráfego acentuada, apresentando alguns troços onde se verificam dificuldades de circulação viária.



Figura 4.3 - Praça do Exército Libertador

A Praça do Exército Libertador (figura 4.3) funciona como polo de convergência de vários arruamentos. Do lado esquerdo conflui a Rua da Prelada, Av. de França, Rua de Pedro Hispano e Av. do Conselho da Europa (a vermelho), e do lado direito a Rua da Natária e a Rua do Carvalhido (a azul). Ambas as intersecções são reguladas por sinalização luminosa. Os dois cruzamentos que formam a Praça (anteriormente referido com cruzamento N°297) apresentam alguns problemas nomeadamente relacionados com a capacidade de escoamento do tráfego. Na realidade, existem mais problemas associados a estes dois cruzamentos como o estacionamento ilegal e movimentos

ilegais com elevada procura que dificultam a circulação do tráfego. No entanto, no simulador de tráfego usado nesta dissertação, esses tipos de problemas não são simulados.

Posto isto, o cenário CMP é construído com os seguintes pressupostos:

- Hierarquização viária;
- Redefinição de sentidos de trânsito;
- Rentabilização da capacidade da Av. Conselho da Europa;
- Otimização de programação e temporização da sinalização luminosa;
- Reorganização de transportes públicos.

4.5.1. ALTERAÇÃO DE SENTIDOS NA RUA OLIVEIRA MONTEIRO E NUM TROÇO DA RUA DO CARVALHIDO

As contagens de tráfego realizadas permitiram confirmar o subaproveitamento da capacidade proporcionada pela Avenida Conselho da Europa. Trata-se de uma avenida constituída por 2 faixas, cada uma com 2 vias. Nos resultados obtidos na simulação do cenário Base, o tráfego que ascende pela Avenida Conselho da Europa é cerca de 180veic/h e, em contrapartida, o volume de tráfego no sentido ascendente da Rua do Carvalhido é cerca de 520 veic/h.

Desta forma, pretendendo distribuir melhor o tráfego pela zona e potenciar o aproveitamento da capacidade da Avenida Conselho da Europa, a 1ª modificação neste cenário propõe a adoção de um único sentido desde a interseção da Rua do Carvalhido com a Rua Sousa Pinto até à interseção da Rua de Oliveira Monteiro com a Rua da Constituição (esta última não está representada no modelo), representado por uma seta vermelha na figura 4.4.

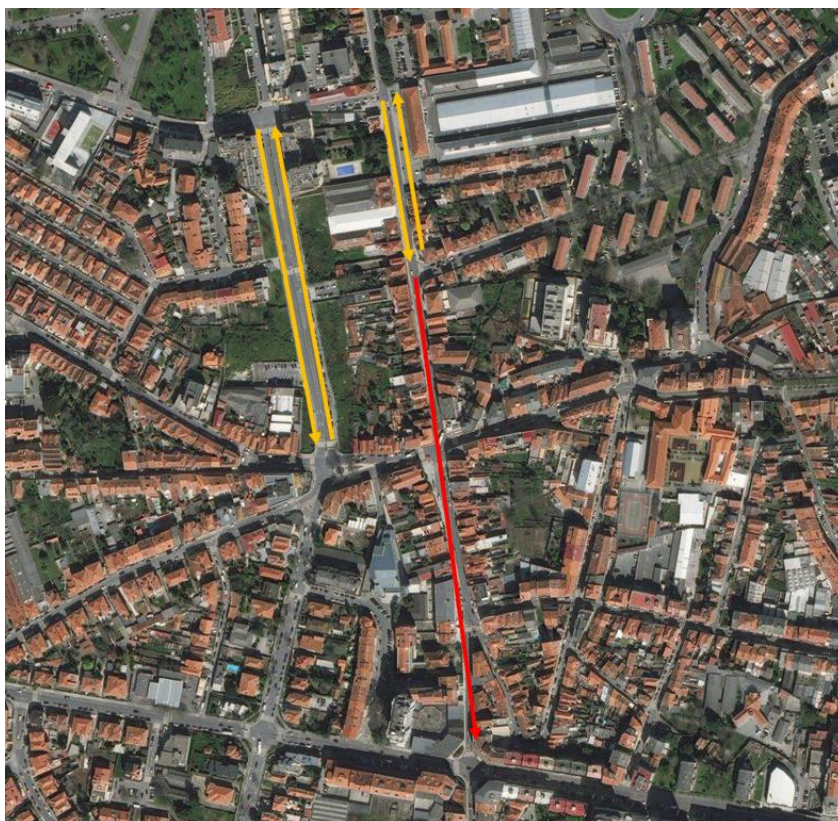


Figura 4.4 - Representação dos sentidos propostos neste cenário

Por fim, é importante referir que os veículos que tinham como origem inicial a Rua Oliveira Monteiro, foram distribuídos pela Rua de Serpa Pinto, Avenida de França e Rua do Zambeze.

Por consequência direta da alteração, o desenvolvimento do cruzamento da Rua da Natária com a Rua do Carvalhido passará a ser efetuado em duas fases como é representado na figura 4.5. Os movimentos estão representados a amarelo, estando apenas o movimento de viragem da Rua da Natária para a Praça Exército Libertador (viragem à esquerda) representado a azul, visto tratar-se de um movimento de viragem com oposição. De realçar que se considerou também permitido o movimento de viragem da Rua do Carvalhido para a Rua da Natária, uma vez que este será necessário para satisfazer a rota de algumas linhas que são afetadas pela alteração do sentido da Rua do Carvalhido e, também porque não existe qualquer movimento conflituoso com este.

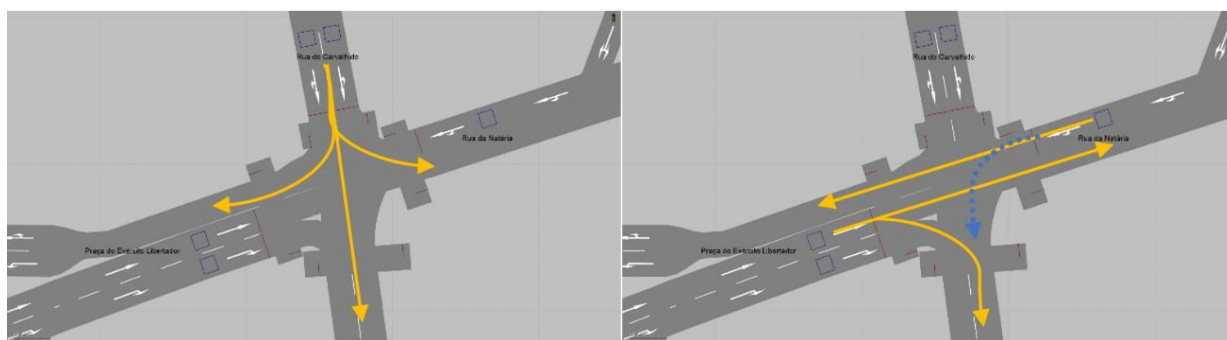


Figura 4.5 - Cruzamento da Rua da Natária com a Rua do Carvalhido desenvolvido em 2 fases

4.5.2. RUA DA PRELADA / AV. DE FRANÇA / RUA DE PEDRO HISPANO / AV. DO CONSELHO DA EUROPA

Outra modificação proposta é a alteração dos movimentos possíveis na rua da Prelada. Na atualidade, a partir da rua da Prelada é possível seguir-se em frente, continuando na rua da Prelada ou virar-se à direita para a Rua Pedro Hispano. Neste cenário propõe-se que estes movimentos deixem de existir, passando a ser apenas possível a viragem à esquerda para a Avenida Conselho da Europa na figura 4.6 está representado o cenário Base e o cenário CMP, à esquerda e à direita respetivamente). Com esta alteração, deixa de fazer sentido o semáforo assinalado na figura a verde pelo que se procedeu à sua remoção no cenário CMP. Isto faz com que o escoamento da Avenida de França seja otimizado uma vez que, com este cenário, o semáforo que regula o movimento de viragem da avenida para a rua da Prelada passará a estar praticamente sempre verde, como irá ser mencionado a seguir.

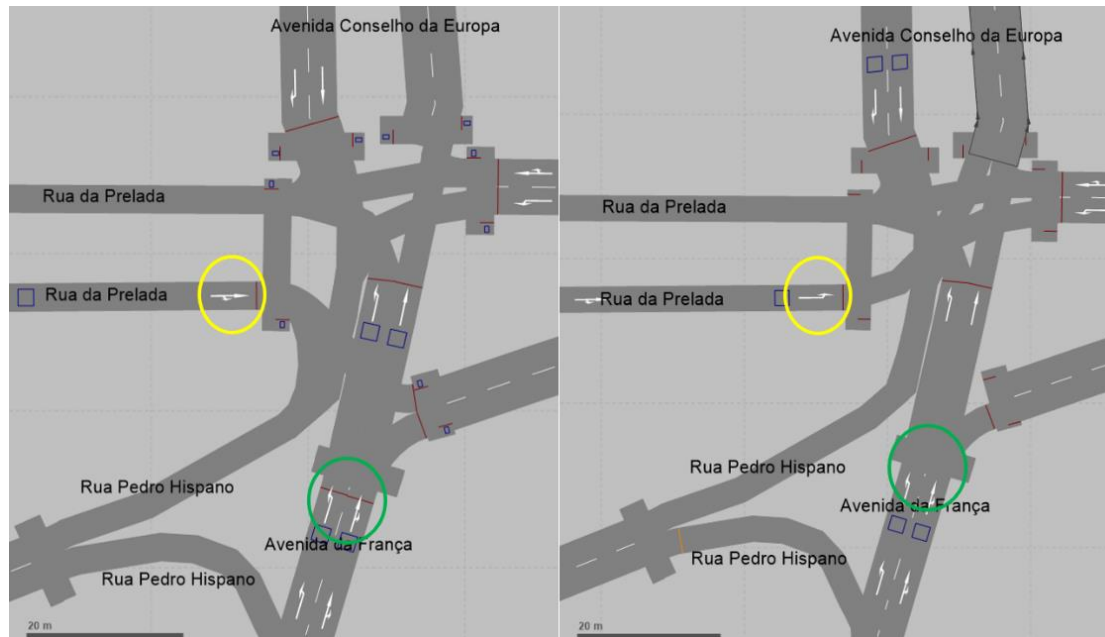


Figura 4.6 - Alteração dos movimentos permitidos na Rua da Prelada

4.5.3. NOVA PROGRAMAÇÃO DE SEMÁFOROS NO CRUZAMENTO Nº297

Devido a todas as alterações mencionadas anteriormente, foi necessário haver uma reprogramação dos semáforos existentes. Ao contrário dos casos anteriores, os ciclos nestes semáforos não foram programados através do método Webster. Uma vez que foram eliminados alguns movimentos, houve a alteração de sentidos e houve a permissão de novos movimentos, a escolha do ciclo dos semáforos deste cruzamento foi feita com base na programação real. Inicialmente foram escolhidas as fases (4), depois o tempo dos ciclos onde os tempos mínimos de verde mantiveram-se os mesmos e os tempos máximos continuaram na ordem dos da programação real. A figura 4.7 mostra os movimentos/correntes de tráfego onde os movimentos dos veículos estão representados a amarelo e os movimentos pedonais a verde. Na tabela 4.3 estão representados os movimentos/correntes de tráfego que constituem cada fase assim como os tempos mínimos e máximos de verde.

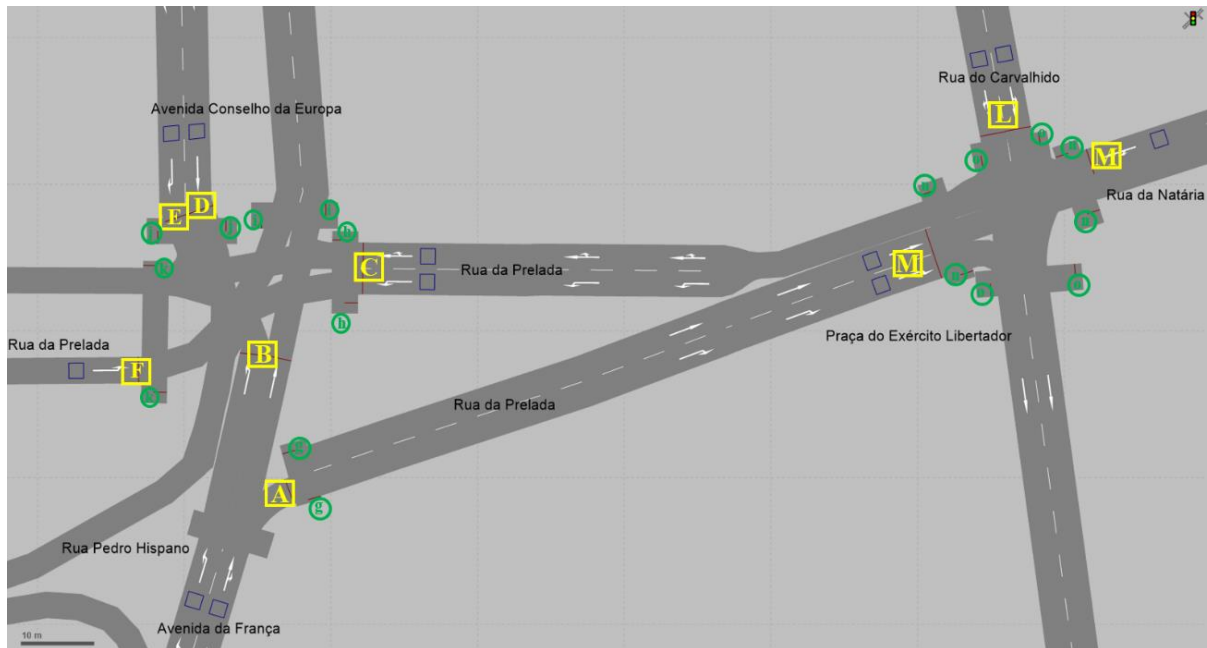


Figura 4.7 - Movimentos existentes no cruzamento N°297

Quadro 4.3 Fases, tempos e movimentos existentes neste cruzamento

	TMáx	TMin	Movimentos/Correntes de tráfico														
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Fase 1	35	12	V	V						V		V	V		V		V
Fase 2	40	12	V		V						V	V	V	V		V	
Fase 3	35	12	V	V		V	V			V			V		V		V
Fase 4	20	12					V	V	V	V				V		V	

No subcapítulo anterior foi mencionado que o cruzamento da Rua da Natária com a Rua do Carvalho se desenvolvia em 2 fases. O ciclo total do cruzamento N°297 desenvolve-se em 2 fases, mas, se repararmos, as Fases 1 e 2, são iguais às Fases 3 e 4 (respetivamente) no que diz respeito aos movimentos que acontecem no cruzamento da Rua da Natária com a Rua do Carvalho (movimentos L, M, N e O).

Uma das maiores dúvidas na programação deste cruzamento foi o movimento i (movimento pedonal) uma vez que em todas as fases existem movimentos de veículos que geram conflitos com este. Optou-se por incluir este movimento pedonal na Fase 2 onde há conflito com o movimento C. Esta escolha deveu-se ao facto de a viragem efetuada pelo momento C ser acentuada e, por consequência, as velocidades serem baixas.

É importante referir que este cruzamento é atuado e funciona todo em conjunto. Na figura 4.8 estão representados a azul os detetores e este cruzamento funciona com os mesmo pressupostos que acontecem na realidade. Todos os movimentos têm associados a si um conjunto de detetores que transmitem a indicação sobre o *headway* entre os veículos. O *headway* é o intervalo de tempo, registado num local fixo (neste caso, os detetores) que decorre entre os instantes de passagem de pontos homólogos dos veículos sucessivos. Se o *headway* for superior a 3s em todos os detetores correspondentes à fase que está a decorrer, então dar-se-á o salto para a fase seguinte. Na figura 4.8, estão representados os detetores existentes no cruzamento e, na tabela 4.4, os detetores associados a cada fase.

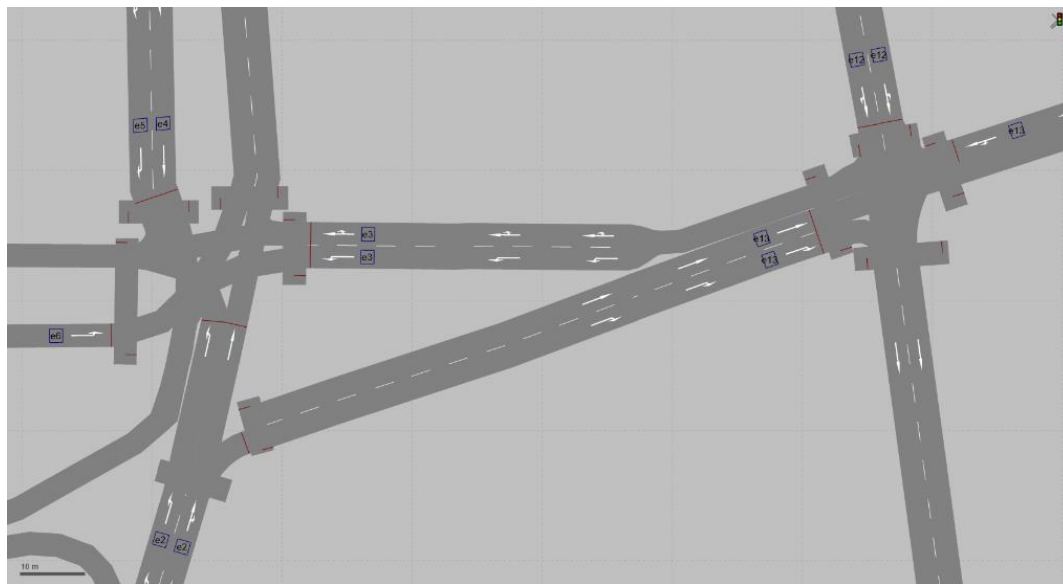


Figura 4.8 - Detetores no cruzamento N°297

Quadro 4.4 - Fases e detetores associados

Fase	Detetores
1	e2; e13
2	e3; e12
3	e4; e5; e13
4	e6; e12

4.5.4. CRUZAMENTO Nº310

Este cruzamento, apesar de ter sofrido alteração num troço da Rua do Carvalhido, continuou com a mesma programação semafórica.

4.5.5. CRUZAMENTO RUA ACÁCIO LINO/ RUA SOUSA PINTO

O cenário CMP pretende também, igualmente ao cenário 2 e 3, a implementação de semáforos neste cruzamento. Os ciclos e as fazes são exatamente os mesmos do que os utilizados nos cenários 2 e 3.

4.5.6. CRUZAMENTO AVENIDA CONSELHO DA EUROPA/ RUA SARMENTO BEIRES

Este cruzamento não semaforizado sofrerá também modificações no que diz respeito à sinalização viária de forma a impor e reforçar a prioridade do movimento ascendente dos veículos provenientes da Avenida Conselho da Europa sobre todos os outros movimentos possíveis no cruzamento. Para isso, neste cenário foram implementados sinais de STOP na Rua Sarmento Beires e na Rua de João Andresen (sinais representados por traços laranjas na figura 4.9).

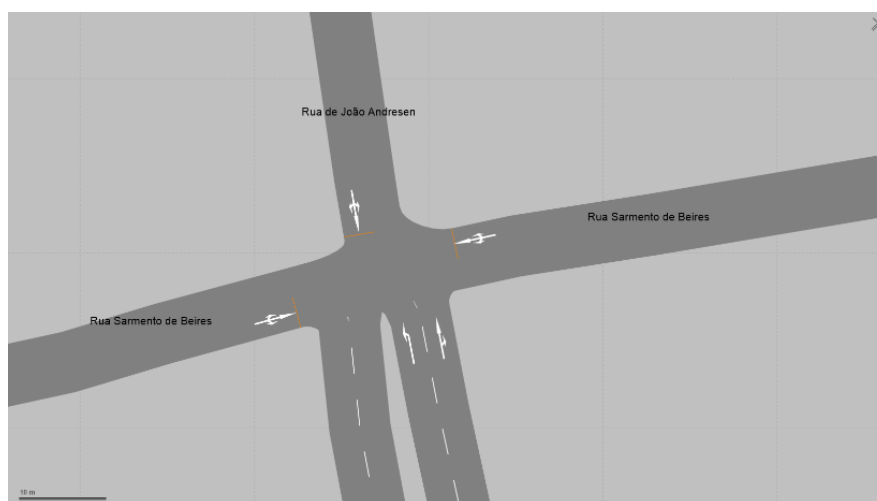


Figura 4.9 - Implementação de sinais STOP no cruzamento da Avenida Conselho da Europa com a Rua Sarmento Beires

4.5.7. CRUZAMENTO RUA MONTES BURGOS/ RUA SARMENTO BEIRES

À semelhança dos cenários 1 e 3, este cenário pretende também a ativação da sinalização existente neste cruzamento com o intuito de regular os fluxos de tráfego. Com as alterações propostas anteriormente, o volume de tráfego afluente à Avenida Conselho da Europa e, consequentemente à Rua Sarmento Beires irá sofrer um acréscimo notável. Como tal, a ativação da sinalização deste cruzamento torna-se crucial uma vez que o volume de tráfego da rua de Montes Burgos é considerável. Desta forma, procedeu-se a uma alteração dos tempos das fases, usados previamente nos cenários 1 e 3 e, introduziu-se detetores de forma a otimizar o escoamento do cruzamento.

Neste cenário é previsto a eliminação da viragem à esquerda da Rua de Montes Burgos para a Rua Sarmento Beires que tem como objetivo canalizar a procura para a Avenida Conselho da Europa e eliminar o conflito entre os dois movimentos (ascendente e descendente) provenientes

da Rua de Montes Burgos que pretendem efetuar a viragem para Sarmento Beires. O cruzamento passa assim a desenvolver-se em 2 etapas como está ilustrado na figura 4.10.



Figura 4.10 - Cruzamento da Rua Sarmento Beires com a Rua de Montes Burgos desenvolvido em 2 fases

Neste caso optou-se por tempos de fases variáveis, introduzindo detetores (representados a azul na figura 4.10). O seu funcionamento é semelhante ao do cruzamento N°297. Por exemplo, tendo-se dado o tempo mínimo de verde da Fase 1 e, se o *headway* registado no detetor “e301” for superior a 3s então dá-se o salto de fase. O mesmo acontece para a Fase 2, porém, os detetores associados a esta fase são os “e302”. Os movimentos/correntes de tráfego estão representados na figura 4.11 e, na tabela 4.5, estão discriminadas as fases e os tempos correspondentes. Os tempos de verde mínimos das fases são iguais aos tempos calculados anteriormente para o mesmo cruzamento (cenários 1 e 3) e, os tempos máximos de verde são o dobro dos mínimos. De realçar que os movimentos pedonais não possuem uma fase própria por não se justificar.

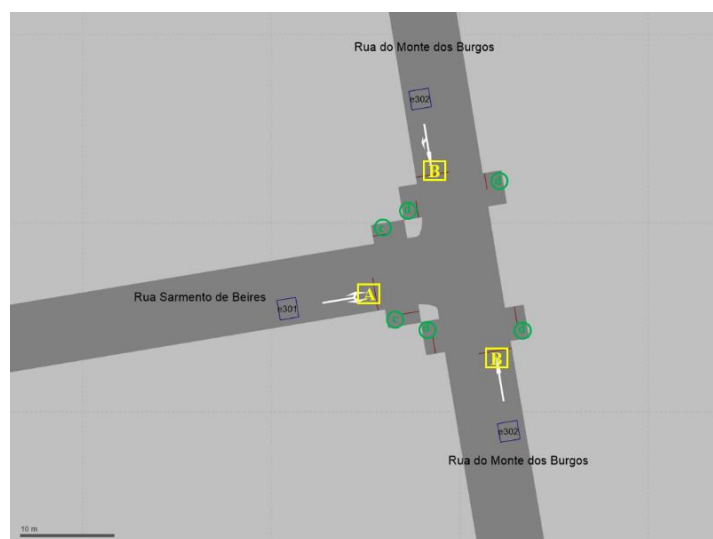


Figura 4.11 - Movimentos existentes no cruzamento

Quadro 4.5 - Fases, tempo, e movimentos existentes no cruzamento

	TMáx	TMin	Movimentos			
			1	2	3	4
Fase 1	40	20	V		V	
Fase 2	25	12		V		V

4.5.8. MODIFICAÇÕES NOS TRANSPORTES PÚBLICOS

Por último, houve alguns ajustes a efetuar nas rotas dos transportes públicos, assim como nas paragens devido à alteração do sentido da Rua do Carvalhido. Devido a esta alteração, as seguintes linhas tiveram de ser reajustadas:

- 206: Viso – Campanhã;
- 300: Circular;
- 508: Boavista – Cabo do Mundo;
- 602: Cordoaria – Aeroporto;
- 704: Boavista – Codiceira.

As linhas 300, 508 e 602 tinham início na rua Oliveira Monteiro, sendo que com a alteração do sentido desta rua, estas linhas foram introduzidas na Avenida de França. Inicialmente, o seu percurso começava na Rua Oliveira Monteiro, seguindo pela Rua do Carvalhido e, depois, pela Rua de Montes Burgos. Com a alteração do sentido e, sendo introduzidas na Avenida de França, para chegarem à Rua Oliveira Monteiro são obrigadas a circular pela Avenida Conselho da Europa. O mesmo acontece com as linhas 206 e 704, que tinham como parte do seu percurso o troço da Rua do Carvalhido. Desta forma são igualmente obrigadas a circular pela Avenida Conselho da Europa. Em consequência disso, houve a criação de duas paragens novas, uma no início e outra no fim da Avenida Conselho da Europa (sentido Sul-Norte).

A tabela que se segue permite sintetizar todas as modificações dos cenários antes mencionados:

Quadro 4.6 - Síntese geral dos cenários alvos de estudo

Cenários	Modificações
Base	-
1	Ativação dos semáforos no cruzamento da Rua de Sarmento Beires com a Rua de Montes Burgos
2	Implementação de semáforos no cruzamento da Rua Sousa Pinto com a Rua Acácio Lino
3	Conjugação do cenário 1 e 2
CMP	Alteração de sentidos na Rua Oliveira Monteiro e num troço da Rua do Carvalhido; Alteração de sentidos na Rua da Prelada; Ativação dos semáforos no cruzamento da Rua de Sarmento Beires com a Rua de Montes Burgos Implementação de semáforos no cruzamento da Rua Sousa Pinto com a Rua Acácio Lino

4.6.DISSCUSSÃO DE RESULTADOS

Depois de descritos todos os cenários que foram alvo da aplicação do modelo de simulação de tráfego, procedeu-se à apresentação e discussão dos resultados. Como foi anteriormente referido, numa primeira abordagem foram estudados indicadores de desempenho referentes a toda a rede em estudo e, numa segunda instância, foi efetuada uma análise a algumas interseções da zona.

Os resultados obtidos acerca do desempenho geral da rede estão representados na tabela 4.7:

Quadro 4.7 - Resultados dos indicadores gerais da rede

Cenários	Atraso médio por veículo (s)	Número médio de paragens por veículo	Velocidade média (km/h)	Tempo total parado por veículo (s)	Distância Total percorrida (km)	Tempo total de percurso (s)	Atraso total da rede (s)
Base	326	9.93	5,56	257	2586	1683360	1403365
1	395	10.77	4,34	323	2141	1790318	1555263
2	310	9.51	5,95	244	2604	1580098	1299219
3	345	9.03	5,79	283	2451	1567985	1303396
CMP	378	14.46	4,71	278	2396	1832838	1568534

Após analisar os resultados referentes aos cenários apresentados pode concluir-se que o Cenário 2 apresenta, aparentemente, melhorias relativamente ao Cenário Base. Observa-se uma melhoria significativa em todos os indicadores de desempenho que foram alvos de análise. É um cenário onde a circulação é mais fluída, verificando-se velocidades de circulação mais elevadas bem como menores atrasos e, como consequência, maior distância total percorrida.

Comparativamente ao Cenário Base, o Cenários 1 e o Cenário CMP apresentam resultados piores em todos os indicadores de desempenho estudados. Se compararmos estes dois cenários entre si, o Cenário CMP apresenta velocidades de circulação mais elevadas assim como menor atraso médio por veículo. No entanto apresenta um número médio de paragens consideravelmente superior. O tempo total de percurso do Cenário CMP é menor que o do Cenário 1, apresentando, todavia, um maior atraso total da rede.

O Cenário 3, quando comparado com Cenário Base, apresenta uma velocidade média de circulação mais elevada, assim como um menor atraso total da rede e menor tempo total de percurso. Relativamente aos outros indicadores de desempenho, o Cenário 3 exibe resultados piores.

Os resultados resultantes da avaliação das interseções estão presentes na tabela 4.8:

Quadro 4.8 - Resultados dos indicadores de desempenho ao nível das interseções

Cenários	Interseção	Comprimento da fila médio (metros)	Comprimento da fila máximo (metros)	Volume (veic/h)	Nível de serviço da interseção	Atraso total (segundos)	Atraso devido às paragens (segundos)	Número médio de paragens por veículo
Base	1	28	80	1226	E	68	57	2
	2	116	238	1053	F	107	90	2
	3	72	195	871	F	76	51	3
	4	75	131	1345	F	84	65	3
1	1	28	79	923	F	90	76	2
	2	95	237	930	F	98	80	2
	3	79	198	587	F	107	83	3
	4	70	131	1300	F	78	54	4
2	1	34	80	1179	F	86	71	2
	2	106	238	1098	F	89	74	2
	3	49	195	926	F	47	29	2
	4	79	131	1249	F	99	79	3
3	1	31	81	1121	E	74	61	2
	2	97	237	1012	E	78	64	2
	3	70	200	796	F	59	36	3
	4	80	131	1209	F	92	71	3
CMP	1	48	121	1509	E	79	64	2
	2	91	239	167	F	351	315	5
	3	104	200	977	F	74	54	2
	4	75	131	1346	F	92	72	3

Após analisar os indicadores de desempenho referentes ao estudo das interseções, existem alguns aspetos a realçar:

Os níveis de serviço em todas as interseções não são os esperados, pois representam, em alguns casos, condições de escoamento muito próximas do regime instável (nível de serviço E) e, na maioria dos casos, condições de escoamento em regime de sobressaturação, ou seja, de situações de congestionamento (nível de serviço F);

O comprimento médio da fila apresenta valores consideravelmente mais gravosos nos cruzamentos 1 e 3 do Cenário CMP;

No cruzamento 2, no Cenário CMP, os valores do volume de tráfego e atraso, são valores pouco coerentes. Não existe uma razão aparente para justificar tais resultados, no entanto, poderão ter como origem qualquer problema na simulação do Cenário.

Apesar de não ser o foco desta dissertação, o modelo de simulação de tráfego VISSIM também indicadores ambientais (Emissões CO, Emissões Nox e Emissões VOC) que estão representados na tabela 4.9.

Quadro 4.9 - Indicadores de desempenho ambientais

Cenários	Interseção	Emissões CO	Emissões Nox	Emissões VOC
Base	1	1944	378	451
	2	2305	448	534
	3	1675	326	388
	4	2553	497	592
1	1	1899	369	440
	2	1975	384	458
	3	1421	276	329
	4	2389	465	554
2	1	2400	467	556
	2	2063	401	478
	3	1224	238	284
	4	2588	504	600
3	1	2001	389	464
	2	1725	336	400
	3	1369	266	317
	4	2428	472	563
CMP	1	2948	574	683
	2	1174	228	272
	3	1707	332	396
	4	2630	512	610

Após a discussão geral e factual dos resultados, é fulcral realçar que as vantagens e desvantagens de um determinado cenário podem não estar totalmente expressas nestes indicadores de desempenho. Poderá haver outros fatores, como por exemplo, fatores de segurança, condicionantes relacionados com a zona em estudo (por exemplo o comércio), etc. São vários os fatores que podem interferir, direta ou indiretamente, na mobilidade de uma determinada área ou cidade.

No entanto, com base nos indicadores de desempenho e nos resultados obtidos neste trabalho, o Cenário 2 apresenta melhores valores comparativamente ao Cenário Base, assim como relativamente aos outros cenários alternativos. Isto poderá dever-se ao facto de o Cenário 2 propor uma alteração de um ponto crítico da rede e da cidade do Porto. O objetivo desse cenário seria “apenas” regular melhor o cruzamento da Rua Acácio Lino com a Rua Sousa Pinto, pelo que, devido aos resultados finais do estudo, parece que foi “suficiente” para melhorar as condições de mobilidade da rede.

5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES GERAIS

A presente dissertação teve como principal propósito testar e analisar possíveis soluções rodoviárias para a zona do Carvalhido, um ponto crítico da cidade do Porto em termos de circulação rodoviária. Como tal, usando o modelo de microsimulação de tráfego *VISSIM*, modelou-se a zona real (Cenário Base) e, depois, procedeu-se à elaboração e avaliação de cenários alternativos. De um modo geral, as modificações referentes a cada cenário estiveram relacionadas maioritariamente com alterações, implementação e ativação de semáforos. Foram desenvolvidos 4 cenários, tendo sido avaliados através de um conjunto de indicadores de desempenho fornecidos pelo modelo de tráfego.

Relativamente à validação do modelo, os valores dos índices *GEH* não foram os esperados para alguns troços da rede. A explicação para tais valores estará relacionada com a calibração do modelo. No desenvolvimento do modelo, a fase da calibração é fulcral. Trata-se de uma etapa extensa e bastante complexa, tendo sido o verdadeiro desafio da realização do presente trabalho.

Depois das etapas de calibração e validação do modelo, procedeu-se à elaboração dos cenários assim como a sua análise. Com base nos resultados obtidos, o Cenário 2 apresentou melhorias significativas relativamente ao Cenário Base. Apesar da “simples” alteração da introdução de sinalização semafórica no cruzamento da Rua de Sousa Pinto com a Rua Acácio Lino, todos os indicadores de desempenho estudados neste trabalho apresentaram melhorias. Em contrapartida, o Cenário 1, de um modo geral, foi o cenário que apresentou piores resultados.

De um modo geral, as diferenças entre os cenários, no que diz respeito ao seu desempenho, não são muito diferentes. Existem, como já foi mencionado, melhorias e agravamentos dos resultados nos diferentes cenários, mas, a diferença não é muito evidente. Isto leva às seguintes conclusões:

A zona alvo de estudo é, efetivamente, uma zona muito crítica e difícil de melhorar com pequenas alterações (principalmente modificações a nível microscópico);

Os cenários escolhidos para melhorar as condições de tráfego da zona, deveriam ser mais elaborados ou sugerir outro tipo de modificações.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

É de realçar a enorme capacidade dos modelos de simulação de tráfego, que recriam situações reais tendo em consideração uma grande quantidade de pormenores. Estes tipos de programas têm

vindo a ser cada vez mais desenvolvidos e melhorados, sendo considerados uma ferramenta muito importante nestes casos de estudos.

Atualmente, é cada vez mais fácil aceder a informação pormenorizada e de qualidade. A informação aliada a programas com este tipo de capacidades, permite a recriação ao mais alto detalhe de situações reais de tráfego. Através disso, é possível obter estudos e análises muito interessantes. Existem ferramentas para modelar uma cidade inteira, estudar e analisar o seu desempenho. A modelação de tráfego é uma ferramenta poderosa e cada vez mais crucial no planeamento da mobilidade de uma cidade, pelo que é aqui que reside o futuro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMSUN Microsimulator 5.0 User's Manual TSS – Transporting Simulation Systems, 2005

ALEGRE, Porto - Comparação Das Simulações De Tráfego Dos Comparação Das Simulações De Tráfego Dos. 2003).

BARCELO, Jaume - METHODOLOGICAL NOTES ON COMBINING MACRO , MESO AND MICRO MODELS FOR. January (2014).

BARCELÓ, Jaume - Fundamentals of Traffic Simulation [Em linha] Disponível em WWW:<URL:<http://www.springer.com/series/6161>>. ISBN 9781441979605.

Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, "Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária", 2008

CUNTO, Flávio José Craveiro; LOUREIRO, Carlos Felipe Grangeiro - O uso da microsimulação na avaliação do desempenho da segurança viária. 3:2011) 5–11.

DOWLING, R. - Traffic Analysis Toolbox Volume VI: Definition, Interpretation, and Calculation of Traffic Analysis Tools Measures of Effectiveness. Report. VI:2007) 1–13. doi: FHWA-HOP-08-054 January.

DOWLING, Richard; SKABARDONIS, Alexander; ALEXIADIS, Vassili - Traffic Analysis Toolbox Volume III : Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. Rep. No. FHWA-HRT-04-040, U.S. DOT, Federal Highway Administration, Washington, D.C. III:July (2004) 146.

FERREIRA, José Pedro Cardoso Brandão E Pinto - Aplicação De Modelos De Tráfego (Dracula) Na Avaliação Dos Impactos Em Redes Rodoviárias Urbanas Resultantes Das Alterações Nas Infra-Estruturas. 2008).

GAMBOA, João Pedro Sousa - Desenvolvimento de um protótipo para simulação microscópica de tráfego. 2016) 133.

GONÇALVES, Luís António Pena Jardim - Modelação de uma rede de transporte individual. Estudo de caso Guimarães. 2016).

HAAS, Christine P. - Assessing Developments Using AIMSUN. Civil (2000) 1–11.

HOOGENDOORN, S. P.; BOVY, P. H. L. - State-of-the-art of vehicular traffic flow modelling. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering. . ISSN 0959-6518. 215:4 (2001) 283–303. doi: 10.1177/095965180121500402.

IEEE, I. o. E. a. E. E. I.-. (1991). "Standard Computer Dictionary "

MORGAN, Craig J.; VEYSEY, Michael - Traffic Modelling Guidelines. ISBN 978-1-922194-21-3.

NORONHA, Henrique Dela Bruna - Estudo Comparativo de dois microsimuladores de tráfego - AIMSUN e VISSIM. 2016).

PEREIRA, João; TAVARES, JPMP - Modelos de Simulação e de Previsão de Tráfego. 2015).

QUELHAS, Nuno Miguel De Almeida E - ESTRATÉGIAS DE MICRORREGULAÇÃO EM INTERSEÇÕES CONTROLADAS POR SINAIS LUMINOSOS. 2016).

TAVARES, JPMP - Aplicabilidade e robustez de modelos de afectação de tráfego em redes urbanas. 2003).

TRANSPORT FOR LONDON - Traffic Modelling Guidelines TfL Traffic Manager and. 2010) 184.

VASCONCELOS, António Luís Pimentel - Modelos de atribuição/simulação de tráfego: o impacto na qualidade dos resultados de erros no processo de modelação. 2004) 163.

VILARINHO, Cristina - CALIBRAÇÃO DE MODELOS MICROSCÓPICOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO EM REDES URBANAS. 2008).

BIBLIOGRAFIA

PTV Visum 17 Manual

PTV VISSIM 10 User Manual

RAMADURAI, Gitakrishnan - Introduction to vissim. 2014

SITES

<https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08054/execsum.htm>

<https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/red-light-camera1.htm>

<https://www.unric.org/pt/actualidade/31160-relatorio-das-nacoes-unidas-estima-que-a-populacao-mundial-alcance-os-96-mil-milhoes-em-2050->

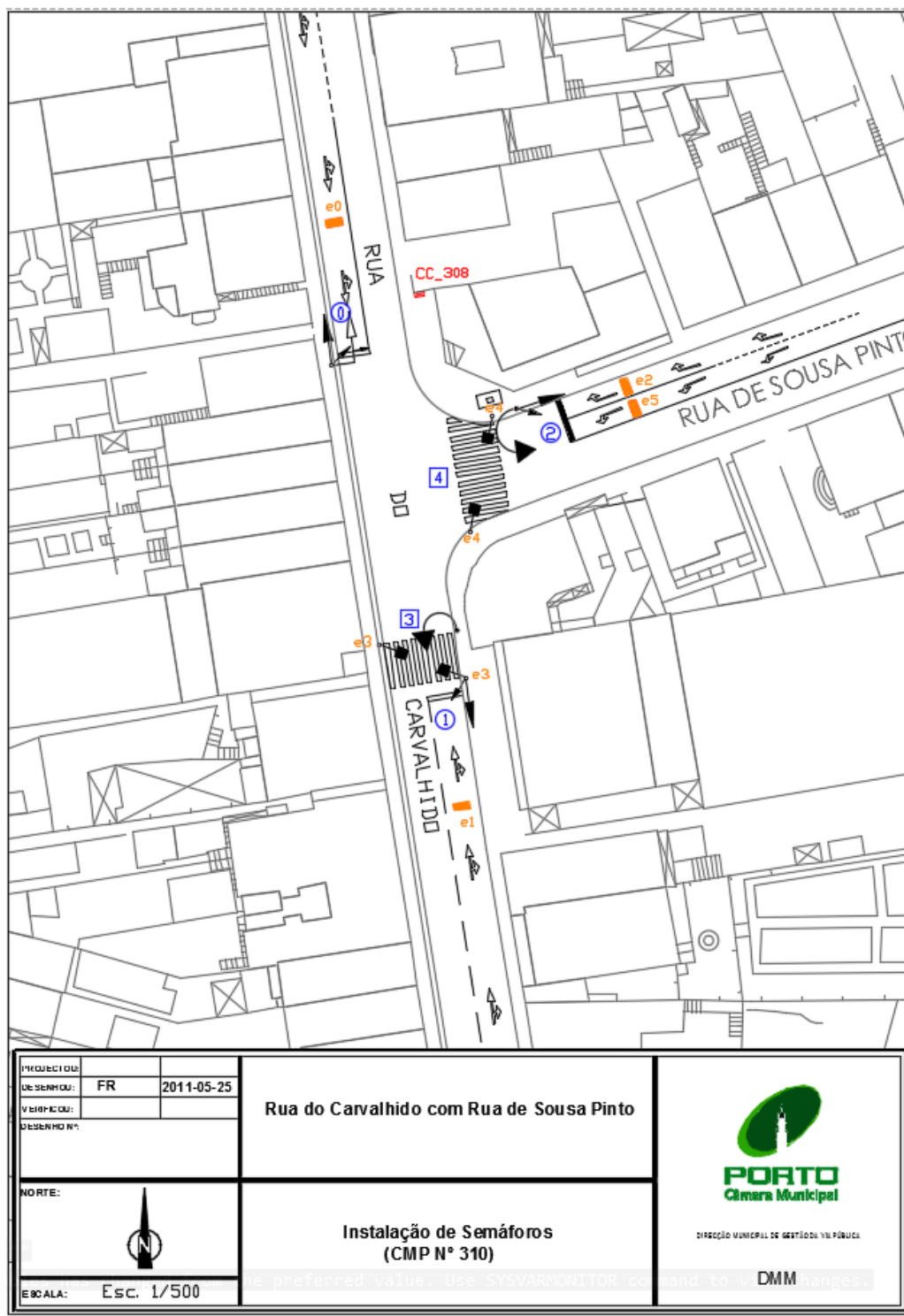
<http://www.stcp.pt/pt/viajar/>

<http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>

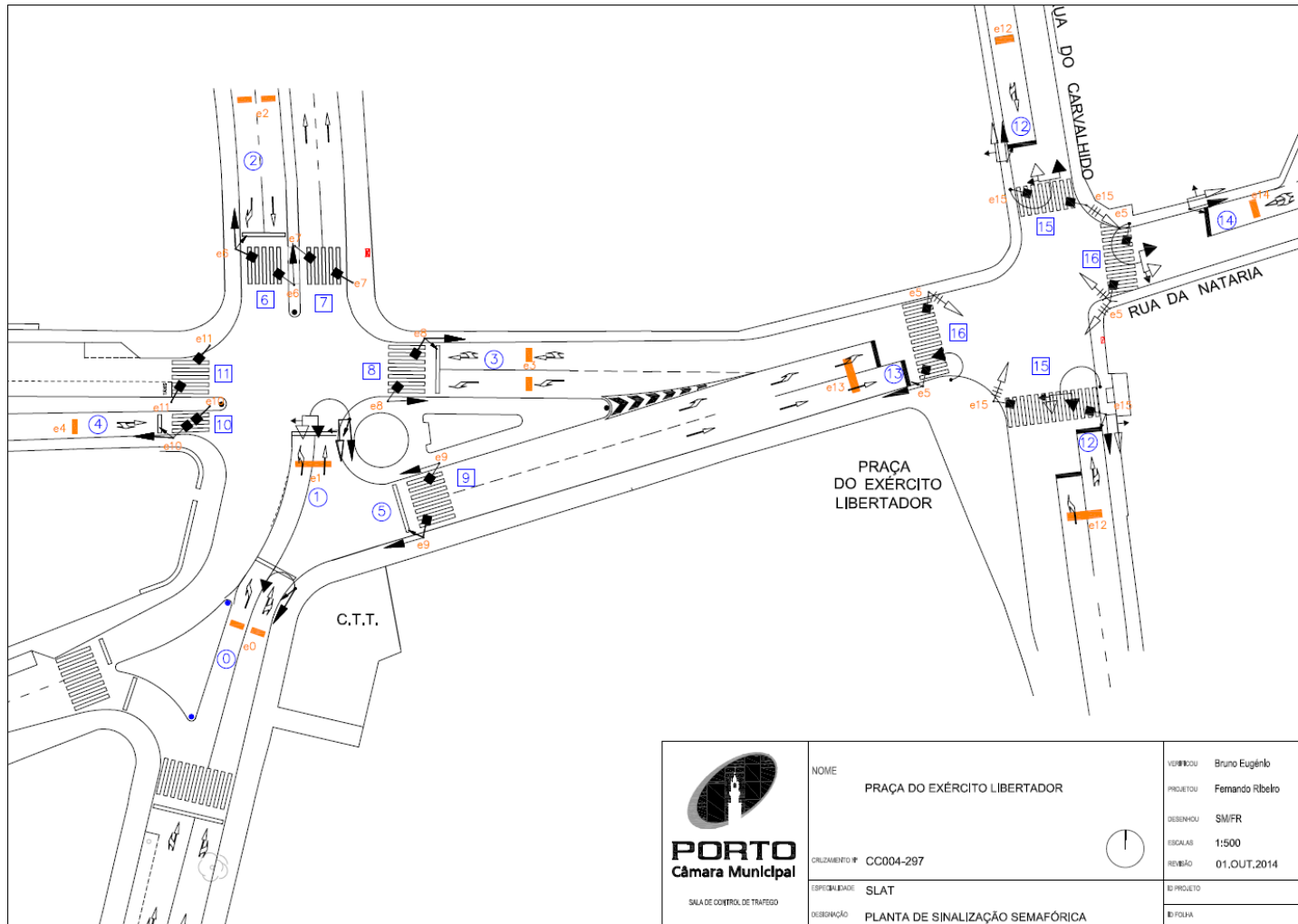
<https://www.youtube.com/user/ptvvision>

7 ANEXOS

Cruzamento Nº310



Cruzamento Nº297



Folha de programação do cruzamento 310 (1 de 2)

EYSSA - TESIS
TECNOLOGIA DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS, SA

FOLHA DE PROGRAMAÇÃO PROSEM

PI _____
Cruzamento n.º: 310
Em cores: 18-11-2011 16:30

Local: Rua Monte dos Burgos / Rua Sousa Pinto

Plano: Modo: A Revisão: 2 Data: 22-11-2011

Funcionamento

- Funcionamento
- FP - Fixo-Plano N°
 - FC - Fixo-Coordenado/Plano n°
 - AP - Actuado-Plano N°
 - AC - Actuado-Coordenado-Plano N°
 - CT - Centralizado
 - Teste - Teste

Dia	H:M	PLANO
	0	
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
	16	
	17	
	18	
	19	
	20	
	21	
	22	
	23	
	24	
	25	
	26	
	27	
	28	
	29	
	30	
	31	

Mudança
Planos

	T ciclo	Dec
P0		
P1		
P2		
P3		
P4		
P5		
P6		
P7		
P8		

P0		
T ciclo - tempo de ciclo de coordenação		
Dec - Ofset local em relação ao ciclo		

Tabela de sequências

Tabela de Sequências			
	TMax.	Tmin.	Vpr
Seq. 0	57	37	
Seq. 1	21	21	
Seq. 2	46	18	

Tabela de semáforos

	Código	SEGURANÇA	PROT
Grp 00	C 0	S 1	1 00
Grp 01	C 0	S 1	1 00
Grp 02	C 0	S 1	1 00
Grp 03	C 3	S 1	1 00
Grp 04	C 3	S 1	1 00
Grp 05	C	S	
Grp 06	C	S	
Grp 07	C	S	
Grp 08	C	S	
Grp 09	C	S	
Grp 10	C	S	
Grp 11	C	S	
Grp 12	C	S	
Grp 13	C	S	
Grp 14	C	S	
Grp 15	C	S	

- | | | |
|-----|---|---|
| C - | 0 | Veículo c/ amarelo fixo 3". |
| | 1 | Veículo intermitente amarelo fixo 3". |
| | 2 | Peão s/ verde intermitente |
| | 3 | Peão c/ verde intermitente 3". |
| S - | 1 | C/ segurança |
| | 0 | S/ segurança |
| T - | | Tempo de protecção de peão programável 0 a 20". |

{No caso de ser veículo,será o tempo de amarelo}

Seq.	23		
TM -	Tempo máximo		
m -	Tempo mínimo		
Vpri-	Variável prioritária		
	{Abandona a sequência que está em curso depois do tempo mínimo}		

Tabela do estado de cada semáforo p/sequência

Tabela do estado de cada semáforo por sequência																
	G0	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15
Seq.0	C	1	1													
Seq.1	C															
Seq.2	C			1	1											
Seq.3	C															
Seq.4	C															
Seq.5	C															
Seq.6	C															
Seq.7	C															
Seq.8	C															
Seq.9	C															
Seq.10	C															
Seq.11	C															
Seq.12	C															
Seq.13	C															
Seq.14	C															
Seq.15	C															
Seq.16	C															
Seq.17	C															
Seq.18	C															
Seq.19	C															
Seq.20	C															
Seq.21	C															
Seq.22	C															
Seq.23	C															
Seq.24	C															
Seq.25	C															
Seq.26	C															
Seq.27	C															
Seq.28	C															
Seq.29	C															

C - Código 1 Aberto Verde ou amarelo intermitente

C - Código	1	Aberto	Verde ou amarelo intermitente
	0	Fechado	Encarnado ou amarelo fixo automático quando for veículo

Folha de programação do cruzamento 310 (2 de 2)



FOLHA DE PROGRAMAÇÃO PROSEM

PI

Cruzamento n.º 310

Tabela de conflitos					Tabela saltos de sequência			Tabela de incrementos			Variáveis simples			Tabela de variáveis compostas														
	A	B	Tempo A->B	Tempo B->A		Seq. Pres.	Seq. Dest.	Var. Salto		Nº de Seq.	Entrada	Incremento		Entrada	Tempo Presença		Tipo de função	Variáveis compostas ou simples										
GRP	0 ->	2	t	3 ->	3	SAL	0 ->	1	V 02	Seq. 0	E 1	I 4	Q0	E 31	T 0	V00	OR	q00										
GRP	0 ->	3	t	3 ->	3	SAL	0 ->	2	V 01	Seq. 0	E 6	I 4	Q1	E 1	T 0	V01	OR	Q02	Q05									
GRP	0 ->	4	t	3 ->	3	SAL	0 ->	0	V 00	Seq. 2	E 2	I 4	Q2	E 2	T 0	V02	OR	Q03	Q04									
GRP	1 ->	2	t	3 ->	3	SAL	1 ->	2	V 01	Seq. 2	E 5	I 4	Q3	E 3	T 0	V03												
GRP	1 ->	3	t	3 ->	3	SAL	1 ->	0	V 00	Seq.	E	I	Q4	E 4	T 0	V04												
GRP	1 ->	4	t	3 ->	3	SAL	2 ->	0	V 00	Seq.	E	I	Q5	E 5	T 0	V05												
GRP	2 ->	3	t	3 ->	3	SAL	->		V	Seq.	E	I	Q6	E 6	T 0	V06												
GRP	2 ->	4	t	3 ->	3	SAL	->		V	Seq.	E	I	Q7	E	T	V07												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q8	E	T	V08												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q9	E	T	V09												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q10	E	T	V10												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q11	E	T	V11												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q12	E	T	V12												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q13	E	T	V13												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q14	E	T	V14												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q15	E	T	V15												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q16	E	T	V16												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q17	E	T	V17												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q18	E	T	V18												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q19	E	T	V19												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q20	E	T	V20												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q21	E	T	V21												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q22	E	T	V22												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q23	E	T	V23												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q24	E	T	V24												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q25	E	T	V25												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q26	E	T	V26												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q27	E	T	V27												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q28	E	T	V28												
GRP	->		t	->		SAL	->		V	Seq.	E	I	Q29	E	T	V29												

A -> B - Semáforo A conflituoso c/ semáforo B

Ta->b - Tempo de limpeza A->B

Tb->a - Tempo de limpeza B->A

Tb->a	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
E14								
E15								

SAL Salto de Sequência

SAL A->B Salto sequência A->B

V Variável que determina o salto

Seq. Sequência onde é activada a espira c/ o respectivo incremento

E - Nº físico de entrada

I - Tempo de incremento (em segundos)

Q - Variável simples

E - Entrada física

I - Tempo de presença

Espira normal T=0

Espira LQ: T=tempo LQ

7 - parcelas que podem compor a variável

Tipo de Função- (OR) ou (AND)

V - Variável Composta

Folha de programação do cruzamento 297 (1 de 3)



FOLHA DE PROGRAMAÇÃO CASTOR

Cliente: CAMARA MUNICIPAL DO PORTO
Local: Rua do Carvalhido/ Rua da Nataria Av. Da Europa
Cruz Nº: 4_297 Em cores: 19/07/2009

Etapas (etap)(#C/E328h) /grupos semafóricos 00/31

Eta.	MAX	VPR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	55	20	V			V		V	V				V		V				V			
1	45	21	V			V		V	V			V	V				V	V				
2	5		V			V		V	V			V	V									
3	45	22	V	V	V			V			V		V			V						
4	22	23					V	V	V	V	V			V	V				V			
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
16																						
17																						
18																						
19																						
20																						
21																						
22																						
23																						
24																						
25																						
26																						
27																						
28																						
29																						
30																						

Parâmetros de coordenação e centralização(copc)

MOCO TATC VERP VERS CYMA

MOPC ADRT VTXT TDTR TELM NCFF TDPF

Endereço Cruzamento e chave (adrc)

MADR CADR DADR UADR CLEP

Parâmetros entrada saída modo funcionamento (esmo)

SPLN SSYN SOOC SMAN SJCD SJCS SRV SRV

EPLN ESYN ECOO EJCC EJCA ERIA ECMA EPMA

Tipo semáforo (sfeu)

SFEU	TFEU
0	10
1	10
2	10
3	10
4	10
5	10
6	25
7	25
8	25
9	25
10	25
11	25
12	10
13	10
14	10
15	27
16	27
17	
18	
19	
SCF	294

Reservas(resf)

(VES#C#C/E8E8H VREP#C/E908h)

FEU	VESC	VREP
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

Conflitos e limpeza (conf)

(#C/E00h)

conf	FEUA	FEUB	RDAB	RDBA
0	0	4	3	4
1	1	3	2	2
2	1	4	1	1
3	1	7	3	1
4	1	11	2	2
5	2	3	3	3
6	2	4	3	2
7	2	6	3	2
8	2	11	3	3
9	3	4	3	3
10	3	7	3	3
11	3	8	3	2
12	3	11	3	3
13	4	10	3	2
14	5	9	3	2
15	12	13	3	3
16	12	14	3	3
17	12	15	3	3
18	13	14	3	3
19	13	15	3	3
20	13	16	3	3
21	14	16	3	3
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
SCC	29	28	71	64

Decalagens (decf)

(#C/E028h)

decf	FEUA	FEUB	TDAB	TDBA
0	0	4	3	4
1	1	3	2	2
2	1	4	1	1
3	1	7	3	1
4	1	11	2	2
5	2	3	3	3
6	2	4	3	2
7	2	6	3	2
8	2	11	3	3
9	3	4	3	3
10	3	7	3	3
11	3	8	3	2
12	3	11	3	3
13	4	10	3	2
14	5	9	3	2
15	12	13	3	3
16	12	14	3	3
17	12	15	3	3
18	13	14	3	3
19	13	15	3	3
20	13	16	3	3
21	14	16	3	3
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				

Folha de programação do cruzamento 297 (2 de 3)



FOLHA DE PROGRAMAÇÃO CA Cliente: CAMARA MUNICIPAL DO PORTO PI: _____
Local: Rua do Carvalho/ Rua da Nataria Av. Da Europa
Cruz Nº: _____ Em core: _____

Agulhagens (paig) (#C/E828h) Variáveis internas de actuação VAC(fvac) (#C/E Planos e etapas de espera (CYPS#C/E320h patt#C/E260H)

paig	EAIG	VAIG	BAIG
0	0	21	1
1	0	22	3
2	0	23	4
3	0		0
4	1		2
5	2	22	3
6	2	23	4
7	2		0
8	3	23	4
9	3		0
10	4		0
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			

FVAC	p000	p001	p002	p003	p004	p005	p006	p007
PIC	0	ENT	ICI	ICE	VMAX	VMIN	FEU	TPR
FOU	200	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
FET	210	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
FAB	100	ENT	VMIN	ICF	EMAX	EMIN	FEU	TPR
VAS	220	PLAN	PLAN	PLAN	PLAN	PLAN	PLAN	PLAN
0	0	0	30	30		12	0	1
1	0	1	30	30		12	1	1
2	0	2	30	30		12	2	1
3	0	3	30	30		12	3	1
4	0	4	30	30		12	4	1
5	0	5			10	10	16	1
6	0	6			10	10	6	1
7	0	7			10	10	7	1
8	0	8			10	10	8	1
9	0	9			10	10	9	1
10	0	10			10	10	10	1
11	0	11			10	10	11	1
12	0	12	30	30		12	12	1
13	0	13	30	30		12	13	1
14	0	14	30	30		12	14	1
15	0	15			10	10	15	1
16								
17								
18								
19								
20	200	3	5	12				
21	200	6	9	10	14	15		
22	200	1	2	8	13			
23	200	4	7	11				
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								

plan	0	1	2	3	4	5	6	7
patt 0	ETAP							
	DECP							
	MAXP							
patt 1	ETAP							
	DECP							
	MAXP							
patt 2	ETAP							
	DECP							
	MAXP							
patt 3	ETAP							
	DECP							
	MAXP							
patt 4	ETAP							
	DECP							
	MAXP							
patt 5	ETAP							
	DECP							
	MAXP							
patt 6	ETAP							
	DECP							
	MAXP							
patt 7	ETAP							
	DECP							
	MAXP							
CYPS								

Escolha de planos (date) (#C/E1E0h)

date	VAL	HEU	MIN	PLAN
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Folha de programação do cruzamento 297 (3 de 3)



FOLHA DE PROGRAMAÇÃO CA Cliente: _____ Pl: _____
Local: _____
Cruz Nº: _____ Em cores: _____

Seguranças dissociadas

Afectação de semáforos por cruzamento SDIS)

feu	SDIS
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	

Entradas de comando de Intermitente

E0000	
E0001	
E0002	
E0003	

Processos simultâneos

Definição processos (PROS)

pros	0	1	2	3
INIP				
FINP				
C0				
C1				
C2				
C3				
C4				
C5				
C6				
C7				

Afectação semáforos por processos PFEU)

pfeu	PFEU
0	0
1	0
2	0
3	1
4	1
5	1
6	2
7	2
8	2
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	

Programação em VAP dos semáforos do cruzamento N°310

\$SIGNAL_GROUPS

\$

A 1

B 2

C 3

\$STAGES

\$

Stage_1 A

red B C

Stage_2 B

red A C

Stage_3 C

red A B

\$STARTING_STAGE

\$

Stage_1

\$INTERSTAGE1

Length [s] : 6

From Stage : 1

To Stage : 2

\$

A -127 0

B 6 127

\$INTERSTAGE2

Length [s] : 6

From Stage : 2

To Stage : 3

\$

B -127 0

C 6 127

\$INTERSTAGE3

Length [s] : 6

From Stage : 3

To Stage : 1

\$

C -127 0

A 6 127

\$INTERSTAGE4

Length [s] : 6

From Stage : 1

To Stage : 3

\$

A -127 0

C 6 127

\$END


```

PROGRAM ped;

/* SUBROUTINES */

/* PARAMETERS DEPENDENT ON SCJ-PROGRAM */

/* EXPRESSIONS */
    Min_Green_Stg1 := T_green( A ) >= T_green_min( A );
    Min_Green_Stg2 := T_green( B ) >= T_green_min( B );
    Min_Green_Stg3 := T_green( C ) >= T_green_min( C );
    Max_Green_Stg1 := T_green( A ) >= T_red_min( A );
    Max_Green_Stg2 := T_green( B ) >= T_red_min( B );
    Max_Green_Stg3 := T_green( C ) >= T_red_min( C );
    Passage :=4;
    GapOut_e000 :=detection( 400 );
    GapOut_e001 :=detection( 401 );
    GapOut_e00 :=headway( 400 ) > Passage;
    GapOut_e01 :=headway( 401 ) > Passage;
    GapOut_e02 :=headway( 402 ) < Passage;
    GapOut_e03 :=headway( 403 ) < Passage;
    GapOut_e04 :=headway( 404 ) < Passage;
    GapOut_e05 :=headway( 405 ) < Passage;

/* MAIN PROGRAM */

IF Stage_active( 1 ) THEN
    IF Min_Green_Stg1 AND (GapOut_e03 OR GapOut_e04) THEN
        Interstage( 1 , 2 )
        END
    END;

IF Stage_active( 1 ) THEN
    IF Min_Green_Stg1 AND ((GapOut_e00 AND GapOut_e01) OR Max_Green_Stg1) THEN
        Interstage( 1 , 3 )
        END
    END;

IF Stage_active( 2 ) THEN
    IF Min_Green_Stg2 AND ((GapOut_e02 OR GapOut_e05) OR Max_Green_Stg2) THEN
        Interstage( 2 , 3 )
        END
    END;

IF Stage_active( 3 ) THEN
    IF Min_Green_Stg3 AND ((GapOut_e000 OR GapOut_e001) OR Max_Green_Stg3) THEN
        Interstage( 3 , 1 )
        END
    END.

```

Programação em VAP dos semáforos do cruzamento Nº297

\$SIGNAL_GROUPS

\$

A 1
B 2
C 3
D 4
E 5
F 6
G 7
H 8
I 9
J 10
K 11
L 12
M 13
N 14
O 15
P 16
Q 100

\$STAGES

\$

Stage_1	Q	C	E	F	J	L	P					
red	A	B	D	G	H	I	K	M	N	O		
Stage_2	Q	C	F	I	J	N	O					
red	A	B	D	E	G	H	K	L	M	P		
Stage_3	Q	C	E	F	J							
red	A	B	D	G	H	I	K	L	M	N	O	P
Stage_4	Q	A	B	E	H	J	M					
red	C	D	F	G	I	K	L	N	O	P		
Stage_5		D	E	F	G	H	K	L	P			
red	Q	A	B	C	I	J	M	N	O			

\$STARTING_STAGE

\$

Stage_1

\$INTERSTAGE1

Length [s] : 6
From Stage : 1
To Stage : 2

\$

Q -127 127
C -127 127
F -127 127
J -127 127
E -127 0
L -127 0
P -127 0
I 6 127
N 6 127
O 6 127

\$INTERSTAGE2

Length [s] : 6

From Stage : 2
To Stage : 3
\$
Q -127 127
C -127 127
F -127 127
J -127 127
I -127 0
N -127 0
O -127 0
E 6 127

\$INTERSTAGE3
Length [s] : 6
From Stage : 3
To Stage : 4
\$
Q -127 127
E -127 127
J -127 127
C -127 0
F -127 0
A 6 127
B 6 127
H 6 127
M 6 127

\$INTERSTAGE4
Length [s] : 6
From Stage : 4
To Stage : 5
\$
E -127 127
H -127 127
Q -127 0
A -127 0
B -127 0
J -127 0
M -127 0
D 6 127
F 6 127
G 6 127
K 6 127
L 6 127
P 6 127

\$INTERSTAGE5
Length [s] : 6
From Stage : 5
To Stage : 1
\$
E -127 127
F -127 127
L -127 127
P -127 127
D -127 0

G -127 0
H -127 0
K -127 0
Q 6 127
C 6 127
J 6 127

\$END

PROGRAM ped;

/* SUBROUTINES */

/* PARAMETERS DEPENDENT ON SCJ-PROGRAM */

/* EXPRESSIONS */

Min_Green_Stg1 := T_green(E) >= T_green_min(E);
Min_Green_Stg2 := T_green(N) >= T_green_min(N);
Min_Green_Stg3 := 5;
Min_Green_Stg4 := T_green(A) >= T_green_min(A);
Min_Green_Stg5 := T_green(D) >= T_green_min(D);
Max_Green_Stg1 := T_green(E) >= T_red_min(E);
Max_Green_Stg2 := T_green(N) >= T_red_min(N);
Max_Green_Stg4 := T_green(B) >= T_red_min(B);
Max_Green_Stg5 := T_green(D) >= T_red_min(D);
Passage := 3;
GapOut_e1 := headway(1) > Passage;
GapOut_e2 := headway(2) > Passage;
GapOut_e3 := headway(3) > Passage;
GapOut_e4 := headway(4) > Passage;
GapOut_e12 := headway(12) > Passage;
GapOut_e13 := headway(13) > Passage;
GapOut_e14 := headway(14) > Passage;

/* MAIN PROGRAM */

IF Stage_active(1) THEN

IF Min_Green_Stg1 AND ((GapOut_e3 AND GapOut_e12) OR Max_Green_Stg1) THEN
Interstage(1 , 2)

END

END;

IF Stage_active(2) THEN

IF Min_Green_Stg2 AND ((GapOut_e14) OR Max_Green_Stg2) THEN
Interstage(2 , 3)

END

END;

IF Stage_active(3) THEN

IF Min_Green_Stg3 THEN
Interstage(3 , 4)

END

END;

IF Stage_active(4) THEN

```
IF Min_Green_Stg4 AND ((GapOut_e1 AND GapOut_e2 AND GapOut_e13) OR
Max_Green_Stg4) THEN
  Interstage( 4 , 5 )
  END
  END;

IF Stage_active( 5 ) THEN
  IF Min_Green_Stg5 AND ((GapOut_e4) OR Max_Green_Stg5) THEN
    Interstage( 5 , 1 )
    END
  END.
```

Método Webster para o cruzamento da Rua de Montes Burgos com a Rua Sarmento Beires
(CENÁRIO 1)

MOMENTOS		A	B	C	D	E	F	<i>Total</i>
Débitos de chegada		245	249	90	98	109	80	871
%		0,281286	0,285878	0,10333	0,112514	0,125144	0,091848	
ρ		0	6	8	6	0	8	
FASE 1		x	x			x	x	
FASE 2				x	x			
Correntes de tráfego								Σ Débitos de chegada
1		x	x					494
2						x	x	189
3				x	x			188
		Correntes de tráfego						
		1	2	3				
Débitos de chegada		494	189	188				
Largura da via (w)		3,5	3,5	3,5				
Débito de saturação base		1700	1700	1600				
fw		1,0115	1,0115	1,0115				
fi		1	1	1				
fz		1	1	1				
fp		0,95	0,95	0,95				
ft		1	1	1				
ρ		6	7	8				
fd		0,8	0,823529	0,842105				
DÉBITOS DE SATURAÇÃO								
Corrente de tráfego s/ oposição em via exclusiva								
sf		1306,858	1345,295	1294,72				
Cálculo do débito de uma Corrente de tráfego sem opção em via partilhada								
MOMENTOS		A	B	C	D	E	F	
Débitos de chegada		245	249	90	98	109	80	
%		0,281286	0,285878	0,10333	0,112514	0,125144	0,091848	
Largura da via (w)		3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	
Débito de saturação base		1700	1600	1600	1600	1700	1500	
fw		1,0115	1,0115	1,0115	1,0115	1,0115	1,0115	
fi		1	1	1	1	1	1	i
fz		1	1	1	1	1	1	Classe
fp		0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	fp
ft		1	1	1	1	1	1	pi
ρ		0	6	8	6	0	8	
fd		1	0,8	0,842105	0,8	1	0,842105	
Considerando que a via é exclusiva para cada movimento_s:		1633,573	1229,984	1294,72	1229,984	1633,573	1213,8	
		Correntes de tráfego						
Corrente de tráfego s/ oposição em via partilhada		1	2	3				
Débitos de chegada		494	189	188				
s		2863,557	2847,373	2524,704				

Correntes de tráfego s/ oposição em via partilhada: 1 e 3

A corrente de tráfego 2 é uma corrente de tráfego c/ oposição em via partilhada (rua do Carvalhido no sentido ascendente)

De forma a simplificar o cálculo dos débitos considerarei também como corrente de tráfego s/ oposição em via partilhada.

Índices de carga da fase i (yi)				
		Fases		
		1	2	
Correntes de tráfego	1	0,172512748		
	2	0,066376984		
	3		0,074464	
				Y
	Máx	0,172512748	0,074464	0,246977
		Fases		
		1	2	
	l	1	1	L
	A	3	3	
	r	3	3	
		Peões	0	
Cálculo dos ciclos				
Cmín	20,2523194	Co	34,52749428	
k	0,8			
Cálculo dos tempos de verde				
	tempo de verde útil, g	tempo de verde real, G		
Fase 1	14,33840217	15,33840217		
Fase 2	10,41012797	11,41012797		

Uma vez que, no passo anterior, considere a corrente de tráfego 2 como corrente de tráfego s/ oposição em via partilhada **vou assumir** que o tempo de verde real (G) desta corrente (e consequentemente da Fase 1) é de 20s e não de 16s.

Sendo assim:

Fase 1 - 20s de verde real

Fase 2 - 12s de verde real

interfases - 6s (3s amarelo + 3s limpeza)

Ciclo - 44s

(não há fase exclusiva de peões)

OBJETIVO: A sinalização já existe, mas atualmente está desligada. Pretende-se estudar o comportamento do tráfego estando este grupo de semáforos ativos. Desta forma a fila que se cira na Rua do Carvalhido poderá ser controlada de outra forma e, assim, não ocorrerá, por exemplo, filas intermináveis que impeçam a viragem à direita dos veículos que vêm de S. Pinto (por estar entupida)

Programação em VAP dos semáforos do cruzamento da Rua Acácio Lino com a Rua Sousa Pinto
(CENÁRIO 2 e CENÁRIO 3)

\$SIGNAL_GROUPS

\$

A 1

B 2

C 3

D 4

E 5

\$STAGES

\$

Stage_1 D E

red A B C

Stage_2 A B

red C D E

Stage_3 A C D

red B E

\$STARTING_STAGE

\$

Stage_1

\$INTERSTAGE1

Length [s] : 6

From Stage : 1

To Stage : 2

\$

D -127 0

E -127 0

A 6 127

B 6 127

\$INTERSTAGE2

Length [s] : 6

From Stage : 2

To Stage : 3

\$

A -127 127

B -127 0

C 6 127

D 6 127

\$INTERSTAGE3

Length [s] : 6

From Stage : 3

To Stage : 1

\$

D -127 127

C -127 0

A -127 0

E 6 127

\$END


```
PROGRAM ped;
```

```
/* SUBROUTINES */
```

```
/* PARAMETERS DEPENDENT ON SCJ-PROGRAM */
```

```
/* EXPRESSIONS */
```

```
Min_Green_Stg1 := T_green( E ) >= T_green_min( E );
Min_Green_Stg2 := T_green( B ) >= T_green_min( B );
Min_Green_Stg1 := T_green( C ) >= T_green_min( c );
Max_Green_Stg1 := T_green( E ) >= T_red_min( E );
Max_Green_Stg2 := T_green( B ) >= T_red_min( B );
Max_Green_Stg3 := T_green( C ) >= T_red_min( C );
GapOut_e999 :=detection( 999 );
```

```
/* MAIN PROGRAM */
```

```
IF Stage_active( 1 ) THEN
```

```
  IF Min_Green_Stg1 THEN
```

```
    Interstage( 1 , 2 )
```

```
    END
```

```
  END;
```

```
IF Stage_active( 2 ) THEN
```

```
  IF Min_Green_Stg2 AND THEN
```

```
    Interstage( 2 , 3 )
```

```
    END
```

```
  END;
```

```
IF Stage_active( 3 ) THEN
```

```
  IF Min_Green_Stg3 AND ((GapOut_e999) OR Max_Green_Stg3) THEN
```

```
    Interstage( 3 , 1 )
```

```
    END
```

```
  END.
```


		Índices de carga da fase i (yi)				
		Fases				
		1	2	3		
Correntes de tráfego	1		0,081519	0,081519		
	2		0,057092			
	3	0,233769979				
	4			0,145548		
	5	0,158838181		0,158838		
					Y	
	Máx	0,233769979	0,081519	0,158838	0,474127	
		Fases				
		1	2			
	l	1	1	L	14	
	A	3	3			
	r	3	3			
		Peões		0		
Cálculo dos ciclos						
Cmín	34,36920006	Co	49,4415797			
k	0,8					
Cálculo dos tempos de verde						
tempo de verde útil, g		tempo de verde real, G				
Fase 1	17,47460113	18,47460113				
Fase 2	8,500704449	9,500704449				
Fase 3	11,87335462	12,87335462				

"Ao haver um erro no cálculo do Ciclo, através do método de Webster, é preferível que este, por questões de segurança, seja por excesso." **Desta forma vou considerar:**

Fase 1 - 25s de verde real

Fase 2 - 10s de verde real

Fase 3 - 16s de verde real

interfases - 6s (3s amarelo + 3s limpeza)

OBS: Aumentei cerca de 6s à Fase 1 uma vez que o movimento E tem mesmo muito volume, acontecendo numa ou outra simulação do Cenário BASE existirem veículos que não chegaram a entrar na rede afetos a esse movimento.

De forma a otimizar ainda mais este movimento **vou assumir:**

Fase 2 com tempo fixo

Fase 3 com TMáx de 16s e TMín de 10s. Da Fase 3 passar-se-á para a Fase 1 se nesta última houver pedido e já se tendo dado o TMin da Fase 3.

O detetor está localizado a 35m (fila de 6/7 carros) do semáforo.

Ciclo: 63- 69s

(não há fase exclusiva de peões)

OBJETIVO: Trata-se de um cruzamento de elevada procura. A quantidade de veículos que vem da Rotunda é muito grande e estes não têm prioridade face aos veículos que vêm e Montes Burgos pelo que se gera filas intermináveis e atrasos muito elevados na Rua de Acácio Lino. Com a semaforização do cruzamento pretende-se gerir melhor a procura e evitar grandes filas e congestionamentos.

Programação em VAP dos semáforos do cruzamento N°297 (CENÁRIO CMP)

\$SIGNAL_GROUPS

\$

A 1
B 2
C 3
D 4
E 5
F 6
G 7
H 8
I 9
J 10
K 11
L 12
M 13
N 14
O 15

\$STAGES

\$

Stage_1	A	B	H	J	K	M	O	
red	C D	E	F	G	I	L	N	
Stage_2	A	C	I	J	K	L	N	
red	B D	E	F	G	H	M	O	
Stage_3	A	B	D	E	H	K	M	O
red	C F	G	I	J	L	N		
Stage_4	E	F	G	H	J	L	N	
red	A B	C	D	I	K	M	O	

\$STARTING_STAGE

\$

Stage_1

\$INTERSTAGE1

Length [s] : 6
From Stage : 1
To Stage : 2

\$

A -127 127
J -127 127
K -127 127
B -127 0
H -127 0
M -127 0
O -127 0
C 6 127
I 6 127
L 6 127
N 6 127

\$INTERSTAGE2

Length [s] : 6
From Stage : 2
To Stage : 3

\$

A -127 127

K -127 127
C -127 0
I -127 0
J -127 0
L -127 0
N -127 0
B 6 127
D 6 127
E 6 127
H 6 127
M 6 127
O 6 127

\$INTERSTAGE3

Length [s] : 6
From Stage : 3
To Stage : 4

\$

E -127 127
H -127 127
A -127 0
B -127 0
D -127 0
K -127 0
M -127 0
O -127 0
J 6 127
F 6 127
G 6 127
L 6 127
N 6 127

\$INTERSTAGE4

Length [s] : 6
From Stage : 4
To Stage : 1

\$

H -127 127
J -127 127
E -127 0
F -127 0
G -127 0
L -127 0
N -127 0
A 6 127
B 6 127
K 6 127
M 6 127
O 6 127
\$END

PROGRAM ped;

/* SUBROUTINES */

/* PARAMETERS DEPENDENT ON SCJ-PROGRAM */

/* EXPRESSIONS */

```
Min_Green_Stg1 := T_green( B ) >= T_green_min( B );
Min_Green_Stg2 := T_green( C ) >= T_green_min( C );
Min_Green_Stg3 := T_green( D ) >= T_green_min( D );
Min_Green_Stg4 := T_green( F ) >= T_green_min( F );
Max_Green_Stg1 := T_green( B ) >= T_red_min( B );
Max_Green_Stg2 := T_green( C ) >= T_red_min( C );
Max_Green_Stg3 := T_green( D ) >= T_red_min( D );
Max_Green_Stg4 := T_green( F ) >= T_red_min( F );
    Passage :=3;
GapOut_e2 :=headway( 2 ) > Passage;
GapOut_e3 :=headway( 3 ) > Passage;
GapOut_e4 :=headway( 4 ) > Passage;
GapOut_e5 :=headway( 5 ) > Passage;
GapOut_e6 :=headway( 6 ) > Passage;
GapOut_e12 :=headway( 12 ) > Passage;
    GapOut_e13 :=headway( 13 ) > Passage;
```

/* MAIN PROGRAM */

```
IF Stage_active( 1 ) THEN
    IF Min_Green_Stg1 AND ((GapOut_e2 AND GapOut_e13) OR Max_Green_Stg1) THEN
        Interstage( 1 , 2 )
        END
    END;

IF Stage_active( 2 ) THEN
    IF Min_Green_Stg2 AND ((GapOut_e3 AND GapOut_e12) OR Max_Green_Stg2) THEN
        Interstage( 2 , 3 )
        END
    END;

IF Stage_active( 3 ) THEN
    IF Min_Green_Stg3 AND ((GapOut_e4 AND GapOut_e5 AND GapOut_e13) OR
Max_Green_Stg3) THEN
        Interstage( 3 , 4 )
        END
    END;

IF Stage_active( 4 ) THEN
    IF Min_Green_Stg4 AND ((GapOut_e6 AND GapOut_e12) OR Max_Green_Stg4) THEN
        Interstage( 4 , 1 )
        END
    END.
```

Programação em VAP dos semáforos do cruzamento da Rua Sarmento Beires com a Rua de Montes
Burgos (CENÁRIO CMP)

\$SIGNAL_GROUPS

\$

A 1

B 2

C 3

D 4

\$STAGES

\$

Stage_1 A D

red B C

Stage_2 B C

red A D

\$STARTING_STAGE

\$

Stage_1

\$INTERSTAGE1

Length [s] : 6

From Stage : 1

To Stage : 2

\$

A -127 0

D -127 0

B 6 127

C 6 127

\$INTERSTAGE2

Length [s] : 6

From Stage : 2

To Stage : 1

\$

B -127 0

C -127 0

A 6 127

D 6 127

\$END

PROGRAM ped;

/* SUBROUTINES */

/* PARAMETERS DEPENDENT ON SCJ-PROGRAM */

/* EXPRESSIONS */

Min_Green_Stg1 := T_green(A) >= T_green_min(A);

Min_Green_Stg2 := T_green(B) >= T_green_min(B);

Max_Green_Stg1 := T_green(A) >= T_red_min(A);

Max_Green_Stg2 := T_green(B) >= T_red_min(B);

Passage :=3;

GapOut_e301 :=headway(301) > Passage;

GapOut_e302 :=headway(302) > Passage;

/* MAIN PROGRAM */

IF Stage_active(1) THEN

IF Min_Green_Stg1 AND ((GapOut_e301) OR Max_Green_Stg1) THEN

Interstage(1 , 2)

END

END;

IF Stage_active(2) THEN

IF Min_Green_Stg2 AND ((GapOut_e302) OR Max_Green_Stg2) THEN

Interstage(2 , 1)

END

END.